



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 42 29 574 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 01 L 29/784**  
H 01 L 21/336

DE 42 29 574 A 1

②① Aktenzeichen: P 42 29 574.2  
②② Anmeldetag: 4. 9. 92  
④③ Offenlegungstag: 11. 3. 93

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
05.09.91 JP P 3-225686 06.12.91 JP P 3-323239  
03.07.92 JP P 4-176873

⑦① Anmelder:  
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:  
Tiedtke, H., Dipl.-Ing.; Bühling, G., Dipl.-Chem.;  
Kinne, R., Dipl.-Ing.; Pellmann, H., Dipl.-Ing.; Grams,  
K., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦② Erfinder:  
Kusunoki, Shigeru; Inuishi, Masahide, Itami, Hyogo,  
JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Feldeffekttransistor und Verfahren zu dessen Herstellung

⑤⑦ Es werden ein Feldeffekttransistor, der höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern hat und selbst bei niedriger Gatespannung eine stärkere Stromsteuerfähigkeit zeigt, und ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Transistors angegeben. Auf einem Bereich der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern wird ein nitrierter Oxydfilm ausgebildet. Der nitrierte Oxydfilm ist im Vergleich zu einem Siliciumoxydfilm sehr widerstandsfähig gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern. Auf einem Bereich der Injektion von beweglichen Kanalelektronen wird der Siliciumoxydfilm ausgebildet. Der Siliciumoxydfilm ist im Vergleich zu dem nitrierten Oxydfilm sehr widerstandsfähig gegenüber beweglichen Kanalelektronen. Ein großer Teil eines Gateisolierfilms ist ein Siliciumoxydfilm. Der Siliciumoxydfilm zeigt im Vergleich zu dem nitrierten Oxydfilm eine höhere Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung.

DE 42 29 574 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich allgemein auf Feldeffekttransistoren und insbesondere auf einen Feldeffekttransistor mit einem Siliciumoxydfilm und einem Stickoxydfilm als Gateisolierfilm und auf ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Feldeffekttransistors.

Ein durch schnelle Lampen- bzw. Bestrahlungserhitzung geformter nitrierter bzw. Stickoxydfilm ist ein gegenüber Spannungsdurchbruch außerordentlich sicherer Isolierfilm. Dies ist beispielsweise in "Extended Abstract of the 21st Conference on Solid State Devices and Materials", Tokyo, Seite 197 beschrieben.

Der Stickoxydfilm ist ein Film, in dem in einer Zwischenschicht zwischen dem Stickoxydfilm und einem Material unterhalb desselben eine große Menge an Stickstoff enthalten ist. Bei einer Verringerung der Vorrichtungsdimensionen ist in Betracht zu ziehen, einen solchen Stickoxydfilm als Gateisolierfilm eines Metalloxydhalbleiter- bzw. MOS-Feldeffekttransistors zu verwenden.

Fig. 71 zeigt schematisch einen MOS-Feldeffekttransistor mit herkömmlicher Einzeldrainstruktur. Ein solcher MOS-Feldeffekttransistor ist beispielsweise im Digest "International Electron Device Meeting 1989", Seite 267 beschrieben. In einem Siliciumsubstrat 1 mit einer Hauptfläche 2 sind in Abstand eine Sourcezone 3a und eine Drainzone 3b ausgebildet. Zwischen der Sourcezone 3a und der Drainzone 3b ist auf der Hauptfläche 2 ein nitrierter bzw. Stickoxydfilm 5 gebildet. Auf dem Stickoxydfilm 5 ist eine Gateelektrode 7 gebildet.

Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen eines solchen MOS-Feldeffekttransistors beschrieben. Zuerst wird das Siliciumsubstrat 1 mit einer Bor-Konzentration von ungefähr  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^2$  hergestellt. Auf der Hauptfläche 2 des Siliciumsubstrats wird ein Siliciumoxydfilm mit 7 nm Dicke geformt. Dieser Siliciumoxydfilm wird dann durch Lampenerhitzung in einer Ammonium enthaltenden Atmosphäre nitriert. Das Nitrieren erfolgt bei einer Temperatur von  $900^\circ$  bis  $1100^\circ\text{C}$  über 10 bis 60 s. Nach beendeter Nitrierung wird der Siliciumoxydfilm wieder in einer Sauerstoffatmosphäre oxydiert. Das Nachoxydieren erfolgt bei einer Temperatur von  $1000^\circ\text{C}$  bis  $1100^\circ\text{C}$  über 10 bis 300 s. Auf diese Weise wird der Stickoxydfilm 5 gebildet.

Dann wird auf dem Stickoxydfilm 5 polykristallines Silicium in einer Dicke von 200 bis 400 nm gebildet. Danach werden durch Fotolithographie und Ätzen der Film aus dem polykristallinen Silicium und der Stickoxydfilm 5 zur Gateelektrode 7 geformt. Unter Verwendung der Gateelektrode 7 als Maske werden in das Siliciumsubstrat 1 Arsen-Ionen implantiert. Die Beschleunigungsenergie beträgt 30 bis 70 keV und die Dosis beträgt  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  oder mehr. Danach wird ein sich ergebender Film zum Bilden der Sourcezone 3a und der Drainzone 3b erhitzt. Durch die vorstehend beschriebenen Prozesse sind die Schritte zum Herstellen des MOS-Feldeffekttransistors ausgeführt.

Die Konzentration des Stickstoffs in dem Stickoxydfilm 5 hängt von der Nitrieratmosphäre, der Nitrierzeit, der Nachoxydierzeit, der anfänglichen Dicke des Siliciumoxydfilms und dergleichen ab. D.h., wenn die Nitrieratmosphäre  $\text{N}_2\text{O}$  ist, ist im Vergleich zu Ammoniumgas die Konzentration selbst bei gleichen anderen Parametern geringer. Wenn die Nachoxydierzeit länger wird, wird die Stickstoffkonzentration geringer. Mit höherer Nitrierzeit, längerer Nitrierzeit, geringerer Anfangsdicke des Silicium-

oxydfilms und höherer Ammoniumkonzentration wird die Stickstoffkonzentration höher.

Es gibt zweierlei Arten von "heißen" bzw. beweglichen Ladungsträgern, die eine Verschlechterung der Eigenschaften der MOS-Feldeffekttransistoren verursachen: Bewegliche Drain-Lawinenladungsträger und bewegliche Kanal-Löcher (Elektronen). Als Kanallöcher- (Kanalelektronen-) Erscheinung wird der Fall bezeichnet, daß gemäß Fig. 72 die sich in einer Kanalzone 11 bewegendes Löcher (Elektronen) durch ein elektrisches Feld um die Drainzone 3b herum beschleunigt werden und dann nahe der Drainzone 3b in einen Gateisolierfilm 6 eindringen. Das Siliciumsubstrat, die Sourcezone und die Gateelektrode sind jeweils mit 1, 3a und 7 bezeichnet. Die beweglichen Kanallöcher (Kanalelektronen) werden auch als bewegliche Kanal-Ladungsträger bezeichnet. Im Falle eines NMOS-Transistors sind die Kanal-Ladungsträger die Kanalelektronen, während im Falle eines PMOS-Transistors die Kanal-Ladungsträger die Kanallöcher bzw. Kanaldefektelektronen sind.

Es werden nun unter Bezugnahme auf Fig. 73 die beweglichen Drain-Lawinenladungsträger beschrieben. Wenn beschleunigte Ladungsträger mit dem Kristallgitter von Si kollidieren, werden Elektronen-Löcher-Paare erzeugt. Dabei werden die Löcher (oder Elektronen) durch eine Gatespannung angezogen und dringen in den Gateisolierfilm 6 ein. Es hängt von der Art des MOS-Transistors ab, ob in den Gateisolierfilm 6 die Elektronen oder die Löcher eindringen. Im Falle des NMOS-Transistors dringen die Elektronen ein, während im Falle des PMOS-Transistors die Löcher bzw. Defektelektronen eindringen.

Sowohl die beweglichen Kanal-Ladungsträger als auch die beweglichen Drain-Lawinenladungsträger werden nahe an dem Drain erzeugt. Es scheint jedoch, daß die beweglichen Kanal-Ladungsträger näher an der Source erzeugt werden als die Drain-Lawinenladungsträger. Vergleicht man zwischen einer bei der Erzeugung der beweglichen Kanal-Ladungsträger angelegten Gatespannung und einer bei dem Erzeugen der Drain-Lawinenladungsträger angelegten Gatespannung, so ist die bei dem Erzeugen der Kanallöcher (oder Kanalelektronen) angelegte Gatespannung höher. Sobald die Gatespannung höher wird, werden die in den Gateisolierfilm 6 eindringenden Löcher oder Elektronen stark von der Gateelektrode beeinflusst. D.h., bei einer größeren Gateelektrode werden die in den Gateisolierfilm eindringenden Löcher oder Elektronen stärker zur Gateelektrode angezogen.

In einem Bereich der Gateelektrode, in den bewegliche Ladungsträger eingedrungen sind, entstehen Grenzflächenzustände oder Störstellen, die eine Verschlechterung der Eigenschaften der MOS-Feldeffekttransistoren hervorrufen. Der Grenzflächenzustand ist ein Energieniveau, das in einem Si-SiO<sub>2</sub>-Grenzflächenbereich das Durchlassen von Ladungen zum Si-Substrat oder das Aufnehmen von Ladungen aus dem Si-Substrat erlaubt. Die Störstelle ist ein Bereich, in dem zu der elektrischen Leitfähigkeit bei tragende Leitungselektronen oder Leitungslöcher eingefangen werden, wodurch deren Beitrag zur elektrischen Leitfähigkeit verhindert wird.

Die beweglichen Drain-Lawinenladungsträger und die beweglichen Kanallöcher bzw. Kanalelektronen haben folgende Beschaffenheit: Ein Feldeffekttransistor nach Fig. 74 hat LDD-Struktur. In einem Siliciumsubstrat werden in Abstand voneinander eine Sourcezone 19a hoher Konzentration und eine Drainzone 19b hoher

Konzentration ausgebildet. An der Innenseite der Sourcezone 19a wird eine Sourcezone 15a niedriger Konzentration ausgebildet, während an der Innenseite der Drainzone 19b hoher Konzentration eine Drainzone 15b niedriger Konzentration gebildet wird. An den einander gegenüberliegenden Seiten einer Gateelektrode 7 werden Seitenwand-Isolierfilme 13a und 13b gebildet.

In Fig. 74 sind jeweils Mengen an injizierten beweglichen Ladungsträgern in dem Fall dargestellt, daß die Konzentration in der Drainzone 15b niedrig, mittel und hoch ist. Die beweglichen Kanalelektronen sind mit CHE bezeichnet, während die beweglichen Drain-Lawinenladungsträger mit DAHC bezeichnet sind. Bezüglich der Kanalelektronen ändert sich der Spitzenwert der Menge an injizierten Ladungsträgern nicht bei der Änderung der Konzentration in der Drainzone 15b niedriger Konzentration. Bezüglich der Drain-Lawinenladungsträger wird der Spitzenwert P der Menge an injizierten Ladungsträgern größer, wenn die Konzentration in der Drainzone 15b höher wird. Außerdem verschiebt sich mit höherer Konzentration in der Drainzone 15b der Spitzenwert P der Drain-Lawinenladungsträger zu einer Kanalzone hin.

Sobald die Gatespannung höher wird, wird die Widerstandsfähigkeit des Stickoxydfilms gegenüber beweglichen Ladungsträgern niedriger als diejenige des Siliciumoxydfilm. Dies wird im folgenden beschrieben. Vor Belastungen wird ein Schwellenwert  $V_{th}$  gemessen und es werden dann Belastungen hervorgerufen. Als Belastungen werden die folgenden vier Zustände herbeigeführt: Gatespannung 1,0 V absolut, Drainspannung 6,0 V und Dauer 1000 s; Gatespannung 2,5 V (2,0 für PMOS) als Absolutwert, Drainspannung 6,0 V und Dauer 1000 s; Gatespannung 4,0 V absolut, Drainspannung 6,0 V und Dauer 1000 s; und Gatespannung 6,0 V absolut, Drainspannung 6,0 V und Dauer 1000 s. Nach dem Belasten werden die Schwellenwerte gemessen. Auf diese Weise wird die Differenz zwischen den Schwellenwerten vor und nach der Belastung, nämlich eine Verschiebung des Schwellenwertes gemessen. In Fig. 75 ist dies für einen NMOS-Feldeffekttransistor dargestellt, während in Fig. 76 der Fall bei einem PMOS-Feldeffekttransistor dargestellt ist. Auf der Horizontalachse ist die Gatespannung bei den Belastungen aufgetragen. Mit zunehmender Menge an erzeugten beweglichen Ladungsträgern wird die Verschiebung der Schwellenwerte größer.

Gemäß Fig. 75 ist im Falle des NMOS-Feldeffekttransistors bei niedriger Gatespannung die Verschiebung des Schwellenwertes für den Stickoxydfilm kleiner als für den Siliciumoxydfilm. D.h., die Widerstandsfähigkeit des Stickoxydfilms gegenüber den beweglichen Ladungsträgern ist höher als diejenige des Siliciumoxydfilms. Wenn jedoch die Gatespannung höher ist, ist die Verschiebung der Schwellenwerte bei dem Stickoxydfilm größer als bei dem Siliciumoxydfilm.

Wenn im Falle des PMOS-Feldeffekttransistors gemäß Fig. 76 der Absolutwert der Gatespannung kleiner wird, ist die Verschiebung der Schwellenwerte bei dem Stickoxydfilm ungefähr die gleiche wie bei dem Siliciumoxydfilm. D.h., die Widerstandsfähigkeit des Stickoxydfilms gegenüber beweglichen Ladungsträgern ist die gleiche wie diejenige des Siliciumoxydfilms. Wenn jedoch der Absolutwert der Gatespannung höher ist, ist die Verschiebung der Schwellenwerte bei dem Stickoxydfilm größer als diejenige bei dem Siliciumoxydfilm.

In "1982 Symposium on VLSI Technology Digest", Seite 40 von Eiji Takeda und anderen ist beschrieben,

daß bei einer Gatespannung von 4 V oder weniger hauptsächlich Drain-Lawinenladungsträger erzeugt werden und bei einer Gatespannung von 4 V oder mehr hauptsächlich Kanalelektronen erzeugt werden. Daher ist gemäß Fig. 75 in dem NMOS-Feldeffekttransistor der Stickoxydfilm im Vergleich zum Siliciumoxydfilm widerstandsfähiger gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern und der Siliciumoxydfilm im Vergleich zum Stickoxydfilm widerstandsfähiger gegenüber beweglichen Kanalelektronen. Bei dem PMOS-Feldeffekttransistor zeigen der Siliciumoxydfilm und der Stickoxydfilm ungefähr die gleiche Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern, während der Siliciumoxydfilm im Vergleich zum Stickoxydfilm gegenüber beweglichen Kanallöchern widerstandsfähiger ist.

In einer komplementären MOS-Schaltung (CMOS-Schaltung) kann entweder an einen NMOS-Transistor oder an einen PMOS-Transistor eine hohe Gatespannung angelegt werden. Gemäß der vorstehenden Beschreibung anhand von Fig. 75 und 76 ist dann, wenn als Gateisolierfilm der Stickoxydfilm verwendet wird und der Absolutwert der Gatespannung höher als derjenige bei der Verwendung des Siliciumoxydfilms als Gateisolierfilm ist, die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern sowohl bei dem NMOS-Transistor als auch bei dem PMOS-Transistor verschlechtert. Infolgedessen entsteht dann, wenn in der CMOS-Schaltung der MOS-Transistor mit dem Stickoxydfilm als Gateisolierfilm eingesetzt ist, im Vergleich zu dem Transistor mit dem Siliciumoxydfilm als Gateisolierfilm der Nachteil, daß die Widerstandsfähigkeit der Schaltung gegenüber beweglichen Ladungsträgern verringert ist.

Fig. 77 und 78 zeigen Spannung-Strom-Kennlinien des MOS-Feldeffekttransistors, der in dem vorangehend genannten Digest "International Electron Device Meeting 1989", Seite 267 beschrieben ist. Fig. 77 zeigt die Kennlinien des NMOS-Transistors, während Fig. 78 die Kennlinien des PMOS-Transistors zeigt. In den Figuren ist mit NO ein nitrierter Oxydfilm bzw. Stickoxydfilm dargestellt, während mit PO ein reiner Oxydfilm dargestellt ist.

Wenn gemäß Fig. 77 ein NMOS-Feldeffekttransistor mit einem Stickoxydfilm als Gateisolierfilm bei einer niedrigeren Gatespannung verwendet wird, zeigt dieser NMOS-Feldeffekttransistor eine geringere Stromsteuerfähigkeit als ein NMOS-Feldeffekttransistor mit dem reinen Oxydfilm als Gateisolierfilm. Wenn gemäß Fig. 78 ein PMOS-Feldeffekttransistor mit dem Stickoxydfilm als Gateisolierfilm verwendet wird, zeigt dieser PMOS-Feldeffekttransistor bei beliebigen Gatespannungen eine geringere Stromsteuerfähigkeit als ein PMOS-Feldeffekttransistor mit dem reinen Oxydfilm als Gateisolierfilm. Die Verschlechterung der Stromsteuerfähigkeit ist eine Verschlechterung der Leistungsfähigkeit der Schaltungen bei höheren Geschwindigkeiten.

Mit zunehmender Anzahl von Störstellen werden die Eigenschaften des Feldeffekttransistors schlechter. Aus ausgeführten Versuchen ist zu schließen, daß ein Nitridfilm mehr Störstellen enthält als ein nitrierter Oxydfilm bzw. Stickoxydfilm. Dies wird bei Ausführungsbeispielen der Erfindung beschrieben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Feldeffekttransistor zu schaffen, der einen nitrierten Oxydfilm mit hoher Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern bei hoher Gatespannung enthält.

Ferner soll mit der Erfindung ein Feldeffekttransistor geschaffen werden, der selbst dann eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern bei hoher und bei niedriger Gatespannung hat, wenn er einen nitrierten Oxydfilm enthält.

Weiterhin soll mit der Erfindung ein Feldeffekttransistor geschaffen werden, der selbst dann, wenn er einen nitrierten Oxydfilm enthält, eine höhere Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung zeigt.

Es ist ferner Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors zu schaffen, der auch dann, wenn er einen nitrierten Oxydfilm enthält, eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern bei hoher Gatespannung hat.

Weiterhin soll mit der Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors mit einem nitrierten Oxydfilm mit verringerten Grenzflächenzustand geschaffen werden.

Mit der Erfindung soll ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors geschaffen werden, der zweierlei Arten von nitrierten Oxydfilmen mit unterschiedlichen Stickstoffkonzentrationen enthält.

Ferner soll mit einem erfindungsgemäßen Verfahren ein Feldeffekttransistor mit einer weiter verbesserten Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern hergestellt werden können.

Mit der Erfindung soll ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors geschaffen werden, der eine verbesserte Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung zeigt.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung enthält ein Feldeffekttransistor einen auf einer Hauptfläche eines Halbleitersubstrats ausgebildeten nitrierten Oxydfilm und einen auf der Hauptfläche ausgebildeten Oxydfilm mit einer Stickstoffkonzentration, die gleich "0" oder geringer als die Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm ist. Bewegliche Kanal-Ladungsträger sind bewegliche Kanallöcher und bewegliche Kanalelektronen.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung enthält ein Feldeffekttransistor einen nitrierten Oxydfilm, der auf einer Hauptfläche eines Halbleitersubstrats ausgebildet ist und der eine Stickstoffkonzentration hat, die von einer Sourcezone weg zu einer Drainzone hin größer wird.

Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung besteht ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors aus folgenden Schritten: Bilden eines Siliciumoxydfilms an einer Hauptfläche eines Halbleitersubstrats, Bilden einer Gateelektrode auf einem Siliciumoxydfilm und Umformen des nahe an einem Seitenbereich der Gateelektrode liegenden Siliciumoxydfilms zu einem nitrierten Oxydfilm.

Gemäß einem vierten Aspekt der Erfindung umfaßt ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors folgende Schritte: Bilden eines Siliciumoxydfilms auf einer Hauptfläche eines Halbleitersubstrats, Bilden einer Gateelektrode auf dem Siliciumoxydfilm, Entfernen des nahe an einem Seitenbereich der Gateelektrode liegenden Siliciumoxydfilms und Formen eines nitrierten Oxydfilms an der Stelle, an der der Siliciumoxydfilm entfernt ist.

Gemäß einem fünften Aspekt der Erfindung besteht ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors aus folgenden Schritten: Bilden eines ersten nitrierten Oxydfilms auf einer Hauptfläche eines Halbleitersubstrats, Bilden einer Gateelektrode auf dem ersten

nitrierten Oxydfilm, Entfernen des nahe an einem Seitenbereich der Gateelektrode liegenden ersten nitrierten Oxydfilms und Bilden eines zweiten nitrierten Oxydfilms mit einer Stickstoffkonzentration, die höher als diejenige des ersten nitrierten Oxydfilms ist, an der Stelle, an der der erste nitrierte Oxydfilm entfernt ist.

Gemäß einem sechsten Aspekt der Erfindung enthält ein Feldeffekttransistor eine Gateelektrode und einen Seitenwandfilm, die auf einem nitrierten Oxydfilm ausgebildet sind.

Gemäß einem siebenten Aspekt der Erfindung enthält ein Feldeffekttransistor ein Halbleitersubstrat mit einer Hauptfläche, eine Sourcezone und eine Drainzone, die in Abstand voneinander in der Hauptfläche des Substrats ausgebildet sind und zwischen denen eine Kanalzone gebildet ist, einen Gateisolierfilm, der zumindest über der Kanalzone auf der Hauptfläche des Substrats liegt, und eine Gateelektrode auf dem Gateisolierfilm, wobei der Gateisolierfilm jeweils eine erste und eine zweite Zone aus Siliciumoxyd bzw. nitriertem Oxyd enthält.

Es wird nun der erste Aspekt der Erfindung beschrieben. Bei hoher Gatespannung sind die beweglichen Ladungsträger hauptsächlich Kanal-Ladungsträger. Gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung wird auf den Bereich der Injektion von beweglichen Kanal-Ladungsträgern in die Hauptfläche des Halbleitersubstrats ein Oxydfilm gebildet. Da der Oxydfilm gegenüber beweglichen Kanal-Ladungsträgern widerstandsfähig ist, zeigt der Oxydfilm eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern bei hoher Gatespannung. Bei niedriger Gatespannung sind die beweglichen Ladungsträger hauptsächlich die Drain-Lawinenladungsträger. Gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung wird an dem Bereich der Injektion der Drain-Lawinenladungsträger in die Hauptfläche des Halbleitersubstrats der nitrierte bzw. Stickoxydfilm gebildet. Der nitrierte Oxydfilm ist widerstandsfähig gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern.

Gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung wird die gleiche Wirkung wie bei dem ersten Aspekt dadurch erreicht, daß die Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm von der Sourcezone weg zu der Drainzone hin erhöht wird.

Gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung wird der Siliciumoxydfilm auf der Hauptfläche des Halbleitersubstrats einschließlich des Bereichs der Injektion beweglicher Kanal-Ladungsträger gebildet. Dies ermöglicht es, eine Struktur für den Fall herzustellen, daß gemäß dem ersten Aspekt die Stickstoffkonzentration in dem Oxydfilm "0" ist.

Es wird nun der vierte Aspekt der Erfindung beschrieben. Wenn durch Ätzen oder dergleichen ein Siliciumoxydfilm beschädigt wird, wird der in dem Film enthaltene Grenzflächenzustand größer. Wenn dieser Siliciumoxydfilm einen nitrierten Oxydfilm bildet, tritt in diesem ein höherer Grenzflächenzustand auf. Gemäß dem vierten Aspekt der Erfindung wird kein derartiger nitrierter Oxydfilm gebildet, da an dem Bereich der Injektion der beweglichen Drain-Lawinenladungsträger der Siliciumoxydfilm entfernt wird, um dort einen neuen nitrierten Oxydfilm zu bilden.

Gemäß dem fünften Aspekt der Erfindung kann ein Feldeffekttransistor mit zweierlei Arten von nitrierten Oxydfilmen hergestellt werden, die unterschiedliche Stickstoffkonzentrationen haben.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung

näher erläutert.

Fig. 1 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 2 ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen einer Belastungsdauer und einer gesamten Gatespannungsverschiebung bei unterschiedlichen Nitriertemperaturen veranschaulicht.

Fig. 3 ist eine schematische Darstellung eines Lampenheizungsgerätes.

Fig. 4 bis 7 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Schritt bei dem Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 8 bis 12 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten, einen dritten, einen vierten und einen fünften Schritt bei einem anderen Beispiel für das Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 13 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 14 bis 17 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Schritt bei dem Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 18 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 19 bis 22 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Schritt bei dem Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 23 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors mit herkömmlicher LDD-Struktur.

Fig. 24 ist eine vergrößerte Darstellung eines in Fig. 23 mit B bezeichneten Teils.

Fig. 25 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 26 bis 29 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Schritt bei dem Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 30 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 31 bis 38 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten, einen dritten, einen vierten, einen fünften, einen sechsten, einen siebenten und einen achten Schritt bei dem Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 39 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 40 bis 47 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten, einen dritten, einen vierten, einen fünften, einen sechsten, einen siebenten und einen achten Schritt bei dem Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 48 ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen einer Nitriertemperatur und einer Schwellenspannungsverschiebung unter der Bedingung veranschaulicht, daß bewegliche Drain-Lawinenladungsträger erzeugt werden.

Fig. 49 ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen der Nitriertemperatur und der Schwellenspannungsverschiebung unter der Bedingung veranschaulicht, daß bewegliche Kanalelektronen erzeugt werden.

Fig. 50 ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen  $E_{eff}$  und  $\mu_{eff}$  im Falle von Gateisolierfilmen NO, OX und RNO veranschaulicht.

Fig. 51 ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen einer Nitriertemperatur und  $\mu_{eff}$  im Falle von Gateisolierfilmen NO, OX und RNO veranschaulicht.

Fig. 52 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem siebenten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 53 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem achten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 54 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem neunten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 55 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem zehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 56 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem elften Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 57 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem zwölften Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 58 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem dreizehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 59 bis 62 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten, einen dritten und einen vierten Schritt bei dem Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem dreizehnten Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 63 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem vierzehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 64 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem fünfzehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 65 bis 67 sind Schnittansichten, die jeweils einen ersten, einen zweiten und einen dritten Schritt bei dem Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem fünfzehnten Ausführungsbeispiel zeigen.

Fig. 68 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem sechzehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 69 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem siebzehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 70 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß einem achtzehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Fig. 71 ist eine schematische Schnittansicht eines herkömmlichen Feldeffekttransistors.

Fig. 72 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors für die Beschreibung von beweglichen Kanalelektronen.

Fig. 73 ist eine Schnittansicht eines Feldeffekttransistors für die Beschreibung von beweglichen Drain-La-

winenladungsträgern.

Fig. 74 ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen der Konzentration in einer Drainzone niedriger Konzentration und der Menge an injizierten beweglichen Ladungsträgern veranschaulicht.

Fig. 75 ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen einer Gatespannung und einer Schwellenspannungsverschiebung in den Fällen zeigt, daß ein Gateisolierfilm eines NMOS-Feldeffekttransistors ein nitrierter Oxydfilm bzw. ein Siliciumoxydfilm ist.

Fig. 76 ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen der Gatespannung und der Schwellenspannungsverschiebung in den Fällen veranschaulicht, daß ein Gateisolierfilm eines PMOS-Feldeffekttransistors ein nitrierter Oxydfilm bzw. ein Siliciumoxydfilm ist.

Fig. 77 ist eine grafische Darstellung von Kennlinien für Stromsteuerfähigkeiten jeweils in dem Fall, daß ein Gateisolierfilm eines NMOS-Feldeffekttransistors ein nitrierter Oxydfilm bzw. ein Siliciumoxydfilm ist.

Fig. 78 ist eine grafische Darstellung von Kennlinien für Stromsteuerfähigkeiten jeweils in dem Fall, daß ein Gateisolierfilm eines PMOS-Feldeffekttransistors ein nitrierter Oxydfilm bzw. ein Siliciumoxydfilm ist.

#### 1. Ausführungsbeispiel

Fig. 1 ist eine schematische Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel. In einem Siliciumsubstrat 1 sind in Abstand voneinander eine Sourcezone 3a und eine Drainzone 3b ausgebildet. Das Siliciumsubstrat 1 hat eine Hauptfläche 2. Auf einem Bereich der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern in die Hauptfläche 2 ist ein nitrierter bzw. Stickoxydfilm 5 gebildet. Auf einem Bereich der Injektion von beweglichen Kanallöchern (Kanalelektronen) in die Hauptfläche 2 ist ein Siliciumoxydfilm 9 (typischerweise aus  $\text{SiO}_2$ ) gebildet. Der Stickoxydfilm 5 und der Siliciumoxydfilm 9 bilden einen Gateisolierfilm.

Die beweglichen Kanal-Ladungsträger (Löcher oder Elektronen) und die beweglichen Drain-Lawinenladungsträger werden jeweils nahe an der Drainzone 3b erzeugt. Im Vergleich zu den Drain-Lawinenladungsträgern werden jedoch die Kanal-Ladungsträger bei einer höheren Gatespannung erzeugt. Daher wird im Vergleich zu der Injektion von Löchern oder Elektronen in den Gateisolierfilm durch die Lawinenladungsträger-Erscheinung die Injektion von Löchern oder Elektronen in den Gateisolierfilm bei der Kanal-Ladungsträger-Erscheinung stärker durch die Gatespannung beeinflusst. Infolgedessen liegt ein Bereich 8 der Injektion von beweglichen Kanallöchern oder Kanalelektronen näher an der Sourcezone 3a als ein Bereich 4 der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern. Eine Gateelektrode ist mit 7 bezeichnet. Als Material für die Gateelektrode kann polykristallines Silicium, Metall oder eine Schichtung aus polykristallinem Silicium und Silicid verwendet werden.

Es wird nun der Umstand erläutert, daß die Störstellendichte eines nitrierten bzw. Stickoxydfilms niedriger als diejenige eines Siliciumoxydfilms ist. Es ist bekannt, daß die Störstellendichte eines Siliciumnitridfilms 100- bis 1000mal höher als diejenige des Siliciumoxydfilms ist. Dies ist beispielsweise in "The Si-SiO<sub>2</sub> System" von Pieter Balk, Seite 32, Materials Science Monographs, veröffentlicht von Elsevier beschrieben.

Fig. 2 ist eine grafische Darstellung, die von den Erfindern am 8. Dezember 1991 in einem Artikel mit dem Titel "IEDM91 Hot-Carrier-Resistant Structure By Re-Oxidized Nitrided Oxide Sidewall For Highly Reliable And High Performance LDD Mosfets" veröffentlicht ist. Eine Belastungszeit in Fig. 2 ist eine Zeit, während der ein Strom FN fließt. Der Strom FN ist ein Strom, der durch eine Gateelektrode und ein Substrat fließt. Die gesamte Gatespannungsverschiebung ist die Differenz zwischen einer Gatespannung, die angelegt wird, wenn der Strom FN zu fließen beginnt, und einer Gatespannung, die angelegt wird, nachdem der Strom FN über eine vorbestimmte Zeitspanne geflossen ist. RNO ist ein nitrierter Oxydfilm und OX ist ein Siliciumoxydfilm. NO ist ein Film, der nach dem Nitrieren nicht nachoxydiert ist. Die in der grafischen Darstellung angegebenen Temperaturen sind Nitriertemperaturen.

Aus der grafischen Darstellung ist ersichtlich, daß die gesamte Gatevorspannungsverschiebung bei einem RNO-Film zehnmal geringer ist als bei einem OX-Film. Da die Störstellendichte zu der gesamten Gatespannungsverschiebung proportional ist, ist ersichtlich, daß die Störstellendichte von RNO zehnmal geringer ist als diejenige von OX. Infolgedessen ist festzustellen, daß die Störstellendichte von RNO niedriger als diejenige des Siliciumnitridfilms ist.

Der Feldeffekttransistor nach Fig. 1 ist im Vergleich zu dem Fall, daß der ganze Gateisolierfilm durch einen nitrierten bzw. Stickoxydfilm gebildet ist, gemäß der Darstellung in Fig. 75 und 76 bei hoher Gatespannung (bzw. bei dem PMOS-Feldeffekttransistor bei hohem Absolutwert der Gatespannung) widerstandsfähig gegenüber beweglichen Ladungsträgern. Wenn der Feldeffekttransistor nach Fig. 1 ein NMOS-Feldeffekttransistor ist, ist dieser gemäß Fig. 75 auch bei niedriger Gatespannung gegenüber beweglichen Ladungsträgern widerstandsfähig. Wenn der Feldeffekttransistor nach Fig. 1 der NMOS-Feldeffekttransistor ist, ist gemäß Fig. 77 die Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung im Vergleich zu dem Feldeffekttransistor mit dem Gateisolierfilm erhöht, der gänzlich aus einem nitrierten Oxydfilm gebildet ist. Wenn der Feldeffekttransistor nach Fig. 1 ein PMOS-Feldeffekttransistor ist, ist gemäß Fig. 78 die Stromsteuerfähigkeit bei irgendeiner Gatespannung im Vergleich zu dem Transistor mit dem Gateisolierfilm erhöht, der gänzlich aus dem nitrierten Oxydfilm bzw. Stickoxydfilm gebildet ist.

Es wird nun ein Lampenerhitzungsgerät beschrieben, das zum Bilden eines nitrierten bzw. Stickoxydfilms verwendet wird. Fig. 3 ist eine schematische Darstellung des Lampenerhitzungsgerätes. Auf einem Hauptteil 51 des Gerätes ist eine Kammer 52 angeordnet. Zwischen der Kammer 52 und dem Hauptteil 51 ist eine Dichtung 53 angebracht, die das Innere der Kammer 52 in einem Unterdruckzustand hält.

In der Kammer 52 ist ein Plättchenträger 54 angebracht, auf den ein Siliciumplättchen 55 aufgelegt wird. Oberhalb des Siliciumplättchens 55 ist eine Lampe 56 angebracht. Die Lampe 56 ist elektrisch über einen Anschluß 57 an eine Stromquelle und ein Steuersystem 58 außerhalb des Hauptteils 51 angeschlossen.

Ein nahe an dem Siliciumplättchen 55 angeordnetes Thermoelement 59 ist gleichfalls über den Anschluß 57 mit der Stromquelle und dem Steuersystem 58 verbunden. Die Ausgangsleistung der Stromquelle wird durch das Steuersystem 58 entsprechend der durch das Thermoelement gemessenen Temperatur derart gesteuert, daß die Temperatur in der Kammer 52 auf eine Solltemperatur eingestellt wird.

peratur eingestellt wird. Außerdem kann zum Wechseln einer Atmosphäre bei dem Erhitzen die Kammer 52 mittels einer Vakuumpumpe evakuiert werden. Ferner kann in die Kammer 52 Ammoniumgas oder dergleichen eingeleitet werden.

Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben. Gemäß Fig. 4 wird eine Hauptfläche des Siliciumsubstrats 11 oxidiert, um den Siliciumoxydfilm 9 in einer Dicke von ungefähr 10 nm zu bilden. Dann wird auf dem Siliciumoxydfilm 9 aus polykristallinem Silicium eine Nitriersperrmaske 21 mit ungefähr 200 nm Dicke gebildet, die durch Fotolithographie und Ätzen in eine gewünschte Form gebracht wird. Die Ätzrate der Nitriersperrmaske 21 unterscheidet sich stark von derjenigen des Siliciumoxydfilms 9 und die Nitriersperrmaske 21 muß derart beschaffen sein, daß das Nitrieren eines unter der Nitriersperrmaske 21 liegenden Films verhindert ist. Unter diesem Gesichtspunkt wird als Material für die Nitriersperrmaske 21 polykristallines Silicium verwendet.

Durch Lampenerhitzung wird der nitrierte Oxydfilm 5 gemäß Fig. 5 geformt. Die Erhitzung mit den Lampen erfolgt mittels des in Fig. 3 gezeigten Gerätes. Die Bedingungen hierbei sind: Temperatur in der Kammer 900°C, Atmosphäre mit 100% Ammoniumgas und Erhitzungsdauer von ungefähr 30 s. Der nitrierte Oxydfilm kann nötigenfalls in einer Sauerstoffatmosphäre oxidiert oder in einem inerten Gas ausgeglüht bzw. erhitzt werden.

Gemäß Fig. 6 wird der Nitriersperrfilm 21 entfernt. Dann wird auf dem Siliciumoxydfilm 9 und dem Stickoxydfilm 5 ein Film aus polykristallinem Silicium gebildet und aus diesem durch Fotolithographie und Ätzen die Gateelektrode 7 gemäß Fig. 7 geformt. Durch Implantieren von Ionen in das Siliciumsubstrat 1 unter Verwendung der Gateelektrode 7 als Maske wird der in Fig. 1 gezeigte Feldeffekttransistor gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel fertig-gestellt.

Es wird nun ein anderes Beispiel für das Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben. Gemäß Fig. 8 wird auf der Hauptfläche des Siliciumsubstrats 1 der Siliciumoxydfilm 9 in einer Dicke von ungefähr 10 nm gebildet. Dann wird auf dem Siliciumoxydfilm 9 ein Film 7a aus polykristallinem N-Silicium gebildet. Dessen Dicke wird auf ungefähr 300 nm eingestellt. Der Film 7a aus dem polykristallinem Silicium wird dann durch Fotolithographie und Ätzen auf eine gewünschte Form gebracht.

Durch Lampenerhitzung wird der nitrierte Oxydfilm 5 gemäß Fig. 9 gebildet. Die Bedingungen hierbei sind gleich den vorangehend genannten Bedingungen. Gemäß Fig. 10 wird dann durch Fotolithographie und Ätzen der Film 7a aus dem polykristallinen Silicium zu einer gewünschten Form bearbeitet. Ein hierbei verwendeter Fotolack ist mit 60 bezeichnet.

Nach dem Abtragen des Fotolacks 60 wird in einem Mischgas aus Wasserstoffchlorid und Silan die Temperatur erhöht, wodurch gemäß Fig. 11 selektiv auf der Oberfläche des Films 7a aus dem polykristallinen Silicium ein Film 7b aus polykristallinem Silicium abgelagert wird, um die Gateelektrode 7 zu bilden. Der Film 7b aus dem polykristallinen Silicium liegt über dem nitrierten Oxydfilm 5.

Gemäß Fig. 12 werden der Siliciumoxydfilm 9 und der Stickoxydfilm 5 beiderseits der Gateelektrode 7 entfernt. Durch Implantieren von Ionen in das Siliciumsub-

strat 1 unter Verwendung der Gateelektrode 7 als Maske werden eine Sourcezone und eine Drainzone gebildet, wodurch der in Fig. 1 gezeigte Feldeffekttransistor gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel fertiggestellt wird.

## 2. Ausführungsbeispiel

Fig. 13 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel. Gleiche Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 1 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Das zweite Ausführungsbeispiel ist mit dem ersten Ausführungsbeispiel in der Beziehung identisch, daß auf dem Bereich 4 der Injektion von Drain-Lawinenladungsträgern ein Stickoxydfilm 5a ausgebildet ist und auf dem Bereich 8 der Injektion von Kanal-Ladungsträgern der Siliciumoxydfilm 9 gebildet ist. Das zweite Ausführungsbeispiel unterscheidet sich jedoch von dem ersten Ausführungsbeispiel darin, daß in einem bestimmten Bereich zwischen der Sourcezone 3a und dem Bereich 8 der Injektion der Kanal-Ladungsträger bzw. Löcher oder Elektronen in die Hauptfläche 2 ein nitrierter Oxydfilm 5b gebildet ist. Da bei dem zweiten Ausführungsbeispiel der Gateisolierfilm größtenteils ein Stickoxydfilm ist, ist im Vergleich zu dem ersten Ausführungsbeispiel bei dem NMOS-Feldeffekttransistor die Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung verringert (siehe Fig. 77). Der Stickoxydfilm zeigt jedoch im Vergleich zu dem Siliciumoxydfilm eine stärkere Wirkung hinsichtlich des Verhinderns der Diffusion von Bor. Daher kann bei dem Dotieren von Bor in die Gateelektrode die Diffusion von Bor in eine Kanalzone bei diesem zweiten Ausführungsbeispiel verhindert werden, bei dem ein Großteil des Gateisolierfilms der nitrierte Oxydfilm ist.

Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel beschrieben. Gemäß Fig. 14 wird auf der Hauptfläche des Siliciumsubstrats 1 der Siliciumoxydfilm 9 gebildet, auf dem eine Nitriersperrmaske 21 ausgebildet wird. Als Material für die Nitriersperrmaske 21 wird das gleiche wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel verwendet. Die Nitriersperrmaske 21 wird dann durch Fotolithographie und Ätzen in eine vorbestimmte Form gebracht.

Mittels des in Fig. 3 gezeigten Lampenerhitzungsgerätes wird ein nitrierter Oxydfilm 5 gemäß Fig. 15 gebildet. Der Film unterhalb der Nitriersperrmaske 21 wird nicht nitriert und bleibt der Siliciumoxydfilm 9.

Gemäß Fig. 16 wird die Nitriersperrmaske 21 entfernt. Dann wird auf dem Siliciumoxydfilm 9 und dem Stickoxydfilm 5 ein Film aus polykristallinem Silicium gebildet. Gemäß Fig. 17 wird dieser Film aus polykristallinem Silicium einer vorbestimmten Formung unterzogen, um die Gateelektrode 7 zu bilden. Durch Implantieren von Ionen in das Siliciumsubstrat 1 unter Verwendung der Gateelektrode 7 als Maske werden eine Sourcezone und eine Drainzone gebildet, wodurch der in Fig. 13 gezeigte Feldeffekttransistor gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel fertiggestellt wird.

## 3. Ausführungsbeispiel

Fig. 18 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel. Gleiche Bestandteile wie diejenigen des Feldeffekttransistors nach Fig. 1 sind mit den gleichen Bezugs-

zeichen bezeichnet. Bei dem dritten Ausführungsbeispiel ist der nitrierte Oxydfilm 5 auch auf dem Bereich 8 der Injektion von beweglichen Kanal-Ladungsträgern bzw. Kanallöchern oder Kanalelektronen ausgebildet. Die Stickstoffkonzentration im nitrierten Oxydfilm 5 wird von einem Punkt A weg zu einem Punkt B hin höher. Wenn die Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm geringer wird, wird die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Kanal-Ladungsträgern besser. Wenn die Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm höher wird, wird die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern besser. Dies wird nachfolgend beschrieben.

Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel beschrieben. Gemäß Fig. 19 wird auf der Hauptfläche des Siliciumsubstrats 1 der Siliciumoxydfilm 9 gebildet, auf dem eine Nitriersperrmaske 21 ausgebildet wird. Als Material für die Nitriersperrmaske 21 wird das gleiche Material wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel verwendet. Auf die Nitriersperrmaske 21 wird ein Abdecklack 61 aufgebracht, der dann einer vorbestimmten Formung unterzogen wird. Durch stark isotropes Ätzen wird die Nitriersperrmaske 21 unter Verwendung des Abdecklacks 61 als Maske geätzt. Dies ergibt eine abgeschrägte Seitenfläche der Nitriersperrmaske 21. Dann wird der Fotolack 61 entfernt.

Mittels des in Fig. 3 gezeigten Lampenerhitzungsgerätes wird ein nitrierter Oxydfilm 5 gemäß Fig. 20 gebildet. Da an dem abgeschrägten Bereich der Nitriersperrmaske 21 deren Dicke geringer wird, wird der darunterliegende Siliciumoxydfilm 9 stärker nitriert. Dies ermöglicht das Bilden eines nitrierten Oxydfilms 5, dessen Stickstoffkonzentration in Pfeilrichtung höher wird.

Gemäß Fig. 21 wird die Nitriersperrmaske 21 entfernt. Dann wird auf dem Siliciumoxydfilm 9 und dem nitrierten Oxydfilm 5 ein Film aus polykristallinem Silicium gebildet. Der Film aus polykristallinem Silicium wird in eine vorbestimmte Form gebracht, um die Gateelektrode 7 gemäß Fig. 22 zu bilden. Durch Implantation von Ionen in das Siliciumsubstrat 1 unter Verwendung der Gateelektrode 7 als Maske werden eine Sourcezone und eine Drainzone gebildet, wodurch der in Fig. 18 gezeigte Feldeffekttransistor gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel fertiggestellt wird.

#### 4. Ausführungsbeispiel

Fig. 23 ist eine schematische Schnittansicht eines NMOS-Transistors mit herkömmlicher LDD-Struktur, d. h., mit leicht dotiertem Drain. Gleiche Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 1 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. An der Innenseite einer Drainzone 19b hoher Konzentration ist eine Drainzone 15b niedriger Konzentration gebildet. An der Innenseite einer Sourcezone 19a hoher Konzentration ist eine Sourcezone 15a niedriger Konzentration gebildet. Beiderseits der Gateelektrode 7 sind Seitenwandisolierfilme 13a und 13b gebildet.

Wenn eine Kanallänge A 0,6 µm oder mehr beträgt, kann die Drainzone 15b niedriger Konzentration unter Verwendung von Phosphor gebildet werden. Falls jedoch die Kanallänge A kleiner wird, muß die Drainzone 15b niedriger Konzentration unter Verwendung von Arsen gebildet werden, das einen kleineren Thermomodifikationskoeffizienten hat als Phosphor. Da aber bei der Verwendung von Arsen ein Fremdstoffprofil einen steileren Gradienten hat, wird ein elektrisches Feld an einer

Grenzschicht zwischen der Drainzone 15b geringer Konzentration und der Drainzone 19b hoher Konzentration und an der Grenzfläche zwischen der Drainzone 15b niedriger Konzentration und einer Kanalzone 11 gebündelt. An den Stellen, an denen das elektrische Feld konzentriert ist, kann eine Stoßionisation auftreten, so daß daher leicht die Drain-Lawinenladungsträger entstehen können.

Bei der LDD-Struktur entsteht bei einer Gatespannung, bei der die beweglichen Drain-Lawinenladungsträger erzeugt werden, gemäß Fig. 24 in dem Seitenwandisolierfilm 13b eine Schadstelle 17. Dies ist in dem vorangehend genannten Artikel der Erfinder beschrieben. Diese Schadstelle ist ein Grenzflächenzustand bzw. ein Störstellenzustand. Durch die Schadstelle wird die Leitfähigkeit bzw. Steilheit beträchtlich verschlechtert. Die Steilheit ist der Kehrwert des Widerstandes bei eingeschaltetem Transistor. Durch die Verschlechterung der Steilheit wird der über den Transistor fließende Strom verringert.

Die Erfindung ist auch bei einem solchen Feldeffekttransistor mit LDD-Struktur anwendbar. Fig. 25 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel. In einem Siliciumsubstrat 1 sind in Abstand voneinander eine Sourcezone 19a hoher Konzentration und eine Drainzone 19b hoher Konzentration ausgebildet. Die Konzentration der Zonen hoher Konzentration beträgt  $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  oder mehr. An den Innenseiten der Sourcezone 19a und der Drainzone 19b mit der hohen Konzentration sind jeweils eine Sourcezone 15a und eine Drainzone 15b niedriger Konzentration ausgebildet. Die Konzentration der Zonen niedriger Konzentration beträgt  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  oder mehr. Auf der Hauptfläche des Siliciumsubstrats 1 werden ein Siliciumoxydfilm 9 und nitrierte Oxydfilme 5a und 5b gebildet. Auf dem Siliciumoxydfilm 9, dem nitrierten Oxydfilm 5a und dem nitrierten Oxydfilm 5b werden jeweils eine Gateelektrode 7, ein Seitenwandisolierfilm 13a und ein Seitenwandisolierfilm 13b gebildet.

In einem Bereich, in dem der Gradient des Verunreinigungs- bzw. Fremdstoffprofils steil ist, werden bewegliche Drain-Lawinenladungsträger erzeugt. Bei dem vierten Ausführungsbeispiel ist der Gradient des Fremdstoffprofils an einer Grenzfläche zwischen der Drainzone 15b niedriger Konzentration und der Drainzone 19b hoher Konzentration steiler als zwischen der Kanalzone 11 und der Drainzone 15b niedriger Konzentration, so daß daher der nitrierte Oxydfilm 5b in der in Fig. 25 dargestellten Lage ausgebildet wird. Wenn der Drain die LDD-Struktur hat, wird dadurch ein elektrisches Quersfeld verringert, wodurch die Stoßionisation unterdrückt wird. Infolgedessen ist der Drain mit der LDD-Struktur gegenüber beweglichen Ladungsträgern widerstandsfähiger als ein einzelner Drain.

Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel beschrieben. Auf der Hauptfläche 2 des Siliciumsubstrats 1 wird gemäß Fig. 26 der Siliciumoxydfilm 9 in einer Dicke von ungefähr 7 nm gebildet. Dann wird auf dem Siliciumoxydfilm 9 ein Film aus polykristallinem Silicium in einer Dicke von 200 bis 400 nm gebildet. Durch Fotolithographie und Ätzen wird die Gateelektrode 7 geformt. Die Gatelänge wird auf 0,3 µm festgelegt.

Dann wird gemäß Fig. 27 der Siliciumoxydfilm 9 einer Lampenerhitzung in einer Ammoniumatmosphäre bei beispielsweise 900°C über 30 bis 60 s unterzogen. Damit

wird der erhitzte Siliciumoxydfilm 9 nitriert. Danach wird der nitrierte Siliciumoxydfilm in einer Sauerstoffatmosphäre bei beispielsweise 1000°C über 20 bis 120 s nachoxydiert, wodurch die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b gebildet werden. Obgleich auch in die Gateelektrode 7 Stickstoff eintritt, entsteht keine Nitritschicht. Die Stickstoffkonzentration in den nitrierten Oxydfilmen 5a und 5b kann in Abhängigkeit von der Konzentration der Ammonium-Atmosphäre oder von der Nachoxydierzeit gesteuert werden. Wenn als Gas für das Nitrieren  $N_2O$  verwendet wird, ist ein Nachoxydieren unnötig, da in dem Gas kein Wasserstoff enthalten ist.

Dann wird unter Verwendung der Gateelektrode 7 als Maske beispielsweise Arsen mit  $1 \times 10^{13}$  bis  $2 \times 10^{14}/cm^3$  bei 30 bis 70 keV implantiert, wodurch die Sourcezone 15a und die Drainzone 15b mit der niedrigen Konzentration gebildet werden. Die Sourcezone 15a und die Drainzone 15b mit der niedrigen Konzentration können vor dem Ausbilden der nitrierten Oxydfilme 5a und 5b gebildet werden.

Gemäß Fig. 28 wird auf der Hauptfläche 2 ein Siliciumoxydfilm mit 50 bis 300 nm Dicke gebildet. Der Siliciumoxydfilm wird dann durch anisotropes Ätzen zum Bilden der Seitenwandisolerfilme 13a und 13b abgeätzt.

Gemäß Fig. 29 wird unter Verwendung der Gateelektrode 7 und der Seitenwandisolerfilme 13a und 13b als Maske in das Siliciumsubstrat 1 Arsen mit  $1 \times 10^{15}/cm^3$  oder mehr bei einer Beschleunigungsenergie von 40 bis 70 keV implantiert. Durch Erhitzen ergeben sich die Sourcezone 19a und die Drainzone 19b mit der hohen Konzentration.

#### 5. Ausführungsbeispiel

Fig. 30 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel. Bestandteile, die mit denjenigen des Feldeffekttransistors nach Fig. 25 identisch sind, sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Wenn an der Grenzfläche zwischen der Kanalzone 11 und der Drainzone 15b niedriger Konzentration der Gradient der Fremdstoffkonzentration steiler ist als an der Grenzfläche zwischen der Drainzone 15b niedriger Konzentration und der Drainzone 19b hoher Konzentration, entstehen an der Grenzfläche zwischen der Drainzone 15b niedriger Konzentration und der Kanalzone 11 bewegliche Drain-Lawinenladungsträger. Daher muß in diesem Fall auf der Hauptfläche 2 über der Grenzfläche zwischen der Drainzone 15b niedriger Konzentration und der Kanalzone 11 ein nitrierter Oxydfilm gebildet werden. Das fünfte Ausführungsbeispiel ist ein Feldeffekttransistor mit einer derartigen Struktur.

Leitende Seitenwandfilme aus polykristallinem Silicium sind mit 24a und 24b bezeichnet. Die Seitenwandfilme 24a und 24b und die Gateelektrode 7 sind miteinander durch einen Film 26c aus polykristallinem Silicium verbunden. Auf diese Weise dienen die leitenden Seitenwandfilme 24a und 24b auch als Gateelektrode 7. Dies ist deshalb der Fall, weil ein Kanal für das Verbinden der Sourcezone 15a niedriger Konzentration und der Drainzone 15b niedriger Konzentration nicht allein mittels der Gateelektrode 7 gebildet werden kann.

Zum Isolieren der leitenden Seitenwandfilme 24a und 24b von der Sourcezone 19a und der Drainzone 19b mit der hohen Konzentration werden Siliciumoxydfilme 22a und 22b gebildet. Mit 26a und 26b sind Filme aus polykristallinem Silicium bezeichnet. Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß

dem fünften Ausführungsbeispiel beschrieben.

Gemäß Fig. 31 werden auf der Hauptfläche 2 des Siliciumsubstrats 1 nacheinander der Siliciumoxydfilm 9 und die Gateelektrode 7 ausgebildet. Unter Anwendung von chemischer Niederdruck-Dampfablagerung wird auf der Hauptfläche 2 ein Siliciumoxydfilm 28 in einer Dicke von 10 nm gemäß Fig. 32 gebildet.

Der Siliciumoxydfilm 28 wird gemäß Fig. 33 in einer reinen Ammoniumatmosphäre bei beispielsweise 950°C über 30 s nitriert. Ferner wird der nitrierte Siliciumoxydfilm über ungefähr 30 s bei beispielsweise 1000°C einer Nachoxydation in einer Sauerstoffatmosphäre unterzogen. Hierdurch ergibt der Siliciumoxydfilm 28 einen nitrierten Oxydfilm 5. Gemäß Fig. 34 wird auf der Hauptfläche 2 ein Film 24 aus beispielsweise polykristallinem n-Silicium gebildet. Die Dicke des Siliciumfilms 24 wird auf 200 nm eingestellt.

Der Film 24 aus dem polykristallinem Silicium wird gemäß Fig. 35 derart geätzt, daß die leitenden Seitenwandfilme 24a und 24b entstehen. Dann werden in das Siliciumsubstrat 1 unter einem Winkel von beispielsweise 45° zur Hauptfläche 2 n-Fremdstoffe wie Arsen oder Phosphor implantiert, um dadurch die Sourcezone 15a und die Drainzone 15b mit der niedrigen Konzentration zu bilden. Die Fremdstoffdosis wird auf  $1 \times 10^{13}/cm^2$  eingestellt.

Gemäß Fig. 36 wird in das Siliciumsubstrat 1 Arsen mit  $1 \times 10^{15}/cm^3$  Konzentration zum Bilden der Sourcezone 19a und der Drainzone 19b mit der hohen Konzentration implantiert. Da bei dem Bilden der Sourcezone 15a und der Drainzone 15b mit der niedrigen Konzentration die Fremdstoffe unter einem Winkel von 45° zur Hauptfläche 2 implantiert wurden, sind diese Zonen jeweils an der Innenseite der Sourcezone 19a bzw. der Drainzone 19b mit der hohen Konzentration gebildet.

Gemäß Fig. 37 wird auf der Hauptfläche 2 ein Siliciumoxydfilm 22 gebildet.

Gemäß Fig. 38 wird der Siliciumoxydfilm 22 derart weggeätzt, daß nur die Siliciumoxydfilme 22a und 22b zurückbleiben. Auf der Hauptfläche 2 wird dann ein Film aus polykristallinem Silicium gebildet. Dieser Film wird derart auf eine vorbestimmte Form gebracht, daß die Filme 26a, 26b und 26c entstehen.

#### 6. Ausführungsbeispiel

Fig. 39 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel. Gleiche Bestandteile wie diejenigen des Feldeffekttransistors nach Fig. 25 sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Auf dem Bereich 4 der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern ist der nitrierte Oxydfilm 5b ausgebildet. Auf dem Bereich 8 der Injektion von beweglichen Kanallöchern, bzw. Kanalelektronen ist der nitrierte Oxydfilm 5 ausgebildet. Die Stickstoffkonzentration in dem Oxydfilm 5 ist geringer als diejenige in dem Oxydfilm 5b.

Es wird nun die Erscheinung beschrieben, daß durch eine höhere Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern verbessert ist. Fig. 48 ist eine grafische Darstellung, die in dem vorangehend genannten Artikel der Erfinder veröffentlicht ist. Auf der Horizontalachse ist die bei dem Bilden von Filmen angewandte Nitriertemperatur aufgetragen. Auf der Vertikalachse ist die Schwellenspannungsverschiebung, d. h., die Versetzung der Spannung  $V_{th}$  nach Belastungen aufgetragen. Bei kleinerer Versetzung von  $V_{th}$

ist die Widerstandsfähigkeit gegen bewegliche Drain-Lawinenladungsträger höher. Die Belastungen wurden unter Bedingungen ausgeführt, bei denen bei einer Drainspannung von 6,0 V die beweglichen Drain-Lawinenladungsträger erzeugt wurden. Die Belastungsdauer betrug 1000 s. Mit RNO ist ein nitrierter Oxydfilm angegeben, mit OX ist ein Siliciumoxydfilm angegeben und mit NO ist ein Film angegeben, der nur nitriert, nicht nachoxydiert wurde.

Aus Fig. 48 ist ersichtlich, daß mit zunehmender Nitriertemperatur die  $V_{th}$ -Versetzung für RNO geringer wird. Wenn die gleiche Nitrierdauer vorausgesetzt ist, nimmt mit zunehmender Nitriertemperatur die Stickstoffkonzentration in dem Film zu. Infolgedessen wird die Schwellenspannungsversetzung umso geringer, je höher die Stickstoffkonzentration in dem RNO-Film ist.

Es wird nun eine Erscheinung beschrieben, die darin besteht, daß bei geringerer Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Kanallöchern bzw. Kanalelektronen zunimmt. Fig. 49 ist eine grafische Darstellung, die in dem vorangehend genannten Artikel der Erfinder veröffentlicht ist. In diesem Fall sind die Belastungen derart gewählt, daß sowohl die Drainspannung als auch die Gatespannung auf 6,0 V eingestellt ist. Unter diesen Bedingungen werden bewegliche Kanalelektronen erzeugt. Die Belastungsdauer ist auf 1000 s eingestellt. Aus Fig. 49 ist ersichtlich, daß bezüglich RNO dann, wenn die Nitrierzeit kürzer ist, die  $V_{th}$ -Versetzung geringer ist. Da die Nitriertemperatur zu der Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm bzw. Stickoxydfilm proportional ist, ist bei geringerer Nitriertemperatur die Stickstoffkonzentration in dem Stickoxydfilm geringer. Daher ist dann, wenn die Stickstoffkonzentration in dem Stickoxydfilm geringer ist, die  $V_{th}$ -Verschiebung bzw. Schwellenwertversetzung geringer.

Da bei dem sechsten Ausführungsbeispiel des Feldeffekttransistors als Gateisolierfilm der nitrierte Oxydfilm verwendet wird, sind im Vergleich zu einem Feldeffekttransistor mit einem Siliciumoxydfilm als Gateisolierfilm die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Kanal-Ladungsträgern und die Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung verschlechtert. Aus Fig. 49 ist jedoch ersichtlich, daß dann, wenn bei der Bildung des nitrierten Oxydfilms 5 die Nitriertemperatur auf 900°C oder weniger eingestellt wird, die Widerstandsfähigkeit gegenüber den beweglichen Kanallöchern oder Kanalelektronen ungefähr die gleiche wie in dem Fall ist, daß bei dem Feldeffekttransistor als Gateisolierfilm der Siliciumoxydfilm verwendet wird. Der Wert der Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung kommt im Falle eines Feldeffekttransistors mit einem Siliciumnitritfilm als Gateisolierfilm demjenigen im Falle des Feldeffekttransistors mit dem Siliciumoxydfilm als Gateisolierfilm nahe. Die Ursachen dafür werden unter Bezugnahme auf die Fig. 50 und 51 beschrieben. Die Fig. 50 und 51 sind in dem vorangehend genannten Artikel der Erfinder veröffentlichte grafische Darstellungen.

Zunächst wird Fig. 50 beschrieben.  $E_{eff}$  ist eine wirk-  
same bzw. effektive Feldstärke. Das elektrische Feld ist ein Feld in Längsrichtung eines Kanals. Mit abnehmen-  
dem Wert der Gatespannung nimmt die effektive Feld-  
stärke ab.  $\mu_{eff}$  ist die Inversionsschichtbeweglichkeit. Die Inversionsschichtbeweglichkeit ist eine Geschwin-  
digkeit, mit der sich Ladungsträger in einer Inversions-  
schicht bewegen. Wenn die Inversionsschichtbeweglich-  
keit größer ist, ist die Stromsteuerfähigkeit größer. Aus

der Fig. 50 ist ersichtlich, daß bei einer effektiven Feld-  
stärke von 0,3, nämlich bei einer geringen Feldstärke  
der Wert von  $\mu_{eff}$  einen maximalen Wert annimmt.

Es wird nun Fig. 51 beschrieben. Die Horizontalachse  
stellt die Nitriertemperatur bei der Filmbildung dar. Die  
Vertikalachse stellt die Inversionsschichtbeweglichkeit  
dar.  $\mu_{eff, max}$  ist ein Maximalwert von  $\mu_{eff}$ . Wenn ge-  
mäß Fig. 50  $E_{eff}$  0,3 ist, ist  $\mu_{eff}$  maximal. Sobald die  
Nitriertemperatur abnimmt, kommen  $\mu_{eff, max}$  für OX  
und für RNO einander näher. Daher kommt dann, wenn  
ein nitrierter Oxydfilm bei einer Nitriertemperatur von  
900°C oder weniger gebildet wird, die Stromsteuerfä-  
higkeit des Feldeffekttransistors bei niedriger Gate-  
spannung nahe an diejenige des Feldeffekttransistors  
mit einem Siliciumoxydfilm als Gateisolierfilm. Bei dem  
Nitrieren in Ammoniumatmosphäre bei 900°C oder we-  
niger beträgt die Dauer vorzugsweise 5 bis 30 s. Dies ist  
deshalb der Fall, weil bei einem Anstieg der Nitrierdau-  
er über 30 s die Nitriertemperatur ansteigt. Wenn die  
Nitrierdauer kürzer als 5 s ist, erfolgt keine ausreichen-  
de Nitrierung.

Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen des Feldef-  
fekttransistors gemäß dem sechsten Ausführungsbei-  
spiel beschrieben. Das Siliciumsubstrat 1 gemäß Fig. 40  
wird einer thermischen Oxydation in einer Sauerstoffat-  
mosphäre bei 850°C unterzogen, wodurch auf der  
Hauptfläche 2 ein Siliciumoxydfilm 34 mit 10 nm Dicke  
gebildet wird. Der Siliciumoxydfilm 34 wird dann über  
30 s oder weniger einer reinen Ammoniumatmosphäre  
bei 900°C oder weniger ausgesetzt. Danach erfolgt ein  
Ausglühen bzw. Erhitzen oder Nachoxydieren bei einer  
Temperatur von ungefähr 1000°C, wodurch der in  
Fig. 41 gezeigte nitrierte Oxydfilm 5 gebildet wird.

Auf den nitrierten Oxydfilm 5 wird polykristallines  
Silicium aufgebracht und dieses wird zusammen mit  
dem Oxydfilm 5 in eine vorbestimmte Form gebracht,  
wodurch die in Fig. 42 gezeigte Gateelektrode 7 gebil-  
det wird. Gemäß Fig. 43 werden in das Siliciumsubstrat  
1 Phosphor- oder Arsenionen implantiert, wodurch die  
Sourcezone 15a niedriger Konzentration und die Drain-  
zone 15b niedriger Konzentration gebildet werden. Die  
Dosis wird auf  $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$  eingestellt.

Gemäß Fig. 44 wird auf der Hauptfläche 2 nach ei-  
nem chemischen Niederdruck-Dampfablagerungsver-  
fahren (CVD-Verfahren) ein Siliciumoxydfilm 38 in ei-  
ner Dicke von 10 nm gebildet. Der Siliciumoxydfilm 38  
wird dann über 30 s oder länger bei 950°C oder darüber  
einer reinen Ammoniumatmosphäre ausgesetzt. Da-  
nach wird der sich ergebende Film bei einer Temperatur  
von ungefähr 1000°C erhitzt bzw. nachoxydiert, wo-  
durch ein nitrierter Oxydfilm 10 gemäß Fig. 45 gebildet  
wird.

Gemäß Fig. 46 wird auf der Hauptfläche 2 ein Silici-  
umoxydfilm 13 mit einer Dicke von 200 nm gebildet.  
Gemäß Fig. 47 werden der Siliciumoxydfilm 13 und der  
nitrierte Oxydfilm 10 einem anisotropen Ätzen unterzo-  
gen, wodurch die Seitenwandisolierfilme 13a und 13b  
und die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b geformt werden.  
Dann werden unter Verwendung der Gateelektrode 7  
und der Seitenwandisolierfilme 13a und 13b als Maske  
in das Siliciumsubstrat 1 Arsenionen implantiert, wo-  
durch die Sourcezone 19a hoher Konzentration und die  
Drainzone 19b hoher Konzentration gebildet werden.  
Die Dosis wird auf  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  eingestellt.

## 7. Ausführungsbeispiel

Fig. 52 ist eine schematische Schnittansicht eines

Feldeffekttransistors gemäß dem siebenten Ausführungsbeispiel. Gleiche Bestandteile wie diejenigen des Transistors nach Fig. 25 sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Auf dem nitrierten Oxydfilm 5 sind die Seitenwandisolierfilme 13a und 13b und die Gateelektrode 7 ausgebildet.

Da bei dem siebenten Ausführungsbeispiel sowohl unter der Gateelektrode als auch unter den Seitenwandisolierfilmen ein nitrierter Oxydfilm liegt, ist die Widerstandsfähigkeit gegenüber Drain-Lawinenladungsträgern stark verbessert.

Während bei dem in Fig. 25 dargestellten vierten Ausführungsbeispiel ein nitrierter Oxydfilm in einem Bereich ausgebildet ist, in dem hauptsächlich bewegliche Drain-Lawinenladungsträger injiziert werden, erweitert sich der Injektionsbereich in einem gewissen Ausmaß. Infolgedessen tritt manchmal auch unter der Gateelektrode eine Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern auf. Zum Verhindern dieser Injektion ist es erforderlich, auch unter der Gateelektrode einen nitrierten Oxydfilm anzubringen. Bei dem siebenten Ausführungsbeispiel ist dieses Problem gelöst.

#### 8. Ausführungsbeispiel

Fig. 53 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem achten Ausführungsbeispiel. Die gleichen Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Bei dem vierten Ausführungsbeispiel werden gemäß der Darstellung in Fig. 27 die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b geformt, ohne den neben der Gateelektrode 7 gebildeten Siliciumoxydfilm zu entfernen. Bei dem achten Ausführungsbeispiel wird nach dem Entfernen des Siliciumoxydfilms neben der Gateelektrode 7 wieder auf der Hauptfläche 2 ein Siliciumoxydfilm gebildet. Der auf diese Weise neu gebildete Siliciumoxydfilm wird in die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b umgeformt. Auf diese Weise wird bei diesem Ausführungsbeispiel ein nitrierter Oxydfilm 5 auf der Oberfläche der Gateelektrode 7 gebildet.

Bei dem in Fig. 26 gezeigten vierten Ausführungsbeispiel besteht folgendes Problem: Durch das Ätzen für das Formen der Gateelektrode 7 wird der neben der Gateelektrode 7 gebildete Siliciumoxydfilm 9 beschädigt. Wenn bei diesem Zustand ein nitrierter Oxydfilm erzeugt wird, hat dieser Film einen höheren Grenzflächenzustand. Dieses Problem ist bei dem achten Ausführungsbeispiel gelöst.

#### 9. Ausführungsbeispiel

Fig. 54 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem neunten Ausführungsbeispiel. Die gleichen Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Bei dem neunten Ausführungsbeispiel wird bei dem Zustand gemäß Fig. 26 der Siliciumoxydfilm 9 neben der Gateelektrode 7 zu einem dünnen Film geätzt. Danach wird der Siliciumoxydfilm 9 neben der Gateelektrode 7 zu nitrierten Oxydfilmen 5a und 5b umgeformt. Das Umbilden des Siliciumoxydfilms neben der Gateelektrode 7 zu einem Dünnsfilm ermöglicht es, bei dem Bilden der nitrierten Oxydfilme die Nachoxydationsdauer oder dergleichen zu verkürzen. Hierdurch kann eine unnötige Diffusion in Sourcezonen und Drainzonen verhindert werden. Bei dem achten Ausführungsbeispiel kann die gleiche Wir-

kung dadurch erreicht werden, daß die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b aus einem Siliciumoxydfilm geformt werden, der dünner als der Siliciumoxydfilm 9 ist.

Wenn die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b dünner als der Siliciumoxydfilm 9 sind und als Material für die Seitenwandisolierfilme 13a und 13b ein Material mit höherer Dielektrizitätskonstante als ein Siliciumnitritfilm, z. B.  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , eine Blei-Zirkon-Titan-Legierung (PZT) oder dergleichen verwendet wird, werden durch die Gateelektrode 7 auch die Bereiche unter den Seitenwandisolierfilmen 13a und 13b beeinflusst. Hierdurch werden die Stromsteuerfähigkeit und die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern weiter verbessert. Dies ist in einem Artikel "High Dielectric LDD Spacer Technology for High Performance MOSFET" von Mizuno und anderen, IEDM 89, Seite 613 beschrieben.

#### 10. Ausführungsbeispiel

Fig. 55 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem zehnten Ausführungsbeispiel. Die gleichen Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Um eine Trennung einer Verbindungszwischenschicht zu vermeiden, ist es erforderlich, Stufen einer unteren Isolierschicht zu verkleinern. Zum Verkleinern der Stufen der unteren Isolierschicht müßte die Dicke der Gateelektrode 7 verringert werden. Wenn jedoch die Dicke der Gateelektrode 7 geringer ist, könnte bei dem Bilden der nitrierten Oxydfilme 5a und 5b der Stickstoff den Siliciumoxydfilm 9 erreichen. Zum Vermeiden dieser Erscheinung wird bei dem zehnten Ausführungsbeispiel auf der Gateelektrode 7 eine Nitriersperrmaske 21 ausgebildet. Als Nitriersperrmaske 21 kann ein Siliciumnitritfilm, ein Siliciumoxydfilm oder dergleichen verwendet werden.

#### 11. Ausführungsbeispiel

Fig. 56 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem elften Ausführungsbeispiel. Die gleichen Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Wenn Seitenwandfilme 13a und 13b aus einem leitenden Material wie polykristallinem Silicium gebildet werden, wirken die Seitenwandfilme auch als Gateelektrode. Daher wird ein Kanal unter den nitrierten Oxydfilmen 5a und 5b gebildet. Dies ermöglicht es, eine Sourcezone niedriger Konzentration und eine Drainzone niedriger Konzentration wegzulassen. Auf der Gateelektrode 7 wird eine Ätzsperre 23 ausgebildet. Die Ätzsperre 23 wird ausgebildet, wenn die Gateelektrode 7 bei dem Formen der Seitenwandfilme 13a und 13b geätzt werden könnte. Wenn die Seitenwandfilme 13a und 13b aus polykristallinem Silicium gebildet werden, besteht die Ätzsperre 23 vorzugsweise aus einem Siliciumoxydfilm.

#### 12. Ausführungsbeispiel

Fig. 57 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem zwölften Ausführungsbeispiel. Seitenwandfilme 13a und 13b sind aus leitenden Materialien hergestellt. Falls nach dem Formen der Gateelektrode 7 das Siliciumsubstrat 1 der Luft ausgesetzt wird, entsteht neben der Gateelektrode 7 ein natürlicher Oxydfilm 25. Wenn der natürliche Oxydfilm

25 so dünn ist, daß ein Tunneleffekt hervorgerufen wird, können die Seitenwandfilme 13a und 13b ohne Entfernen des natürlichen Oxydfilms 25 gebildet werden. Da der natürliche Oxydfilm 25 so dünn ist, daß der Tunneleffekt hervorgerufen wird, wirken die Seitenwandfilme 13a und 13b auch als Gateelektrode.

### 13. Ausführungsbeispiel

Fig. 58 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem dreizehnten Ausführungsbeispiel. Gleiche Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind Seitenteile 27a und 27b verdünnt und es wird unter Verwendung der Gateelektrode 7 als Maske Stickstoff indiffundiert, so daß die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b nur unterhalb der Seitenteile 27a und 27b gebildet werden.

Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem dreizehnten Ausführungsbeispiels beschrieben. Gemäß Fig. 59 wird über der ganzen Hauptfläche 2 des Siliciumsubstrats 1 der Siliciumoxydfilm 9 mit 7 nm Dicke gebildet. Dann wird auf den Siliciumoxydfilm 9 polykristallines Silicium 29 mit 200 bis 400 nm Dicke aufgebracht. Durch Fotolithographie und Ätzen wird das polykristalline Silicium 29 gemäß der Darstellung in Fig. 59 bearbeitet. Die Dicke eines dünnen Teils 31 des polykristallinen Siliciums 29 beträgt 50 nm oder weniger, während die Dicke eines dicken Teils 33 desselben 200 bis 400 nm beträgt.

Gemäß Fig. 60 wird unter Verwendung des dicken Teils 33 des polykristallinen Siliciums 29 als Maske der Siliciumoxydfilm 9 nitriert und nachoxydiert, um die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b zu bilden. Dann werden gemäß Fig. 61 unter Verwendung des dicken Teils 33 als Maske in das Siliciumsubstrat 1 Ionen implantiert, um eine Sourcezone 15a niedriger Konzentration und eine Drainzone 15b niedriger Konzentration zu bilden.

Gemäß Fig. 62 wird über der ganzen Hauptfläche 2 des Siliciumsubstrats 1 ein Siliciumoxydfilm mit ungefähr 100 nm Dicke gebildet. Dieser Siliciumoxydfilm wird durch anisotropes Ätzen geätzt, wodurch Seitenwandisolerfilme 13a und 13b geformt werden. Dann werden mit den Seitenwandisolerfilmen 13a und 13b und dem dicken Teil 33 als Maske der dünne Teil 31 des polykristallinen Siliciums 29 und die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b geätzt, um die Gateelektrode 7 zu formen. Die verbliebenen dünnen Teile 31 werden zu Seitenteilen 27a und 27b der Gateelektrode. Danach werden durch Ionenimplantation die Sourcezone 19a hoher Konzentration und die Drainzone 19b hoher Konzentration gebildet. Da sich die Gateelektrode 7 über die Sourcezone 19a und die Drainzone 19b mit der hohen Konzentration erstreckt, ist es nicht möglich, die Sourcezone 15a und die Drainzone 15b mit der niedrigen Konzentration wegzulassen.

### 14. Ausführungsbeispiel

Fig. 63 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem vierzehnten Ausführungsbeispiel. Gleiche Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Da bei diesem Ausführungsbeispiel die Gateelektrode 7 dünn gestaltet ist, wird auf einem Siliciumoxydfilm 9 eine Nitriersperrmaske 21 geformt, damit nicht Stickstoff bis zu dem Silici-

umoxydfilm 9 diffundiert. Als Nitriersperrmaske 21 kann ein Siliciumoxydfilm, ein Siliciumnitritfilm oder dergleichen verwendet werden.

Das Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem vierzehnten Ausführungsbeispiel ist dem Herstellungsverfahren bei dem dreizehnten Ausführungsbeispiel gleichartig. D.h., gemäß Fig. 59 wird auf dem Siliciumoxydfilm 9 polykristallines Silicium als Gateelektrode 7 aufgebracht, wobei auf dem polykristallinen Silicium eine Nitriersperrmaske geformt wird. Nur die Nitriersperrmaske wird dann gemäß der Darstellung in Fig. 59 unter Anwendung von Fotolithographie und Ätzung geformt. Die nachfolgenden Bearbeitungsschritte sind die gleichen wie bei dem dreizehnten Ausführungsbeispiel.

### 15. Ausführungsbeispiel

Fig. 64 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem fünfzehnten Ausführungsbeispiel. Gleiche Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Es wird nun ein Verfahren zum Herstellen des Feldeffekttransistors gemäß dem fünfzehnten Ausführungsbeispiel beschrieben. Gemäß Fig. 65 werden auf der Hauptfläche 2 des Siliciumsubstrats 1 aufeinanderfolgend der Siliciumoxydfilm 9, die Gateelektrode 7, eine Nitriersperrmaske 21 und polykristallines Silicium aufgebracht. Durch Fotolithographie und Ätzung werden die Nitriersperrmaske 21 und das polykristalline Silicium in die Form eines in Fig. 65 gezeigten Films gebracht. Die Nitriersperrmaske 21 kann aus einem leitenden oder aus einem isolierenden Material bestehen.

Gemäß Fig. 66 wird nur die Nitriersperrmaske 21 isotropisch geätzt. Bei dem isotropen Ätzen wird auch eine Seitenfläche der Nitriersperrmaske 21 geätzt. Daher wird ein Seitenteil der Gateelektrode 7 freigelegt. Das Nitrieren und Nachoxydieren erfolgt unter Verwendung der Nitriersperrmaske 21 als Maske, wodurch die nitrierten Oxydfilme 5a und 5b gebildet werden. Da die Nitriersperrmaske 21 dick ist, wird der in diese eindringende Stickstoff verteilt. Infolgedessen entsteht in der Nitriersperrmaske 21 keine nitrierte Schicht. Unter Verwendung der Nitriersperrmaske 21 als Maske werden in das Siliciumsubstrat 1 Ionen implantiert, um die Sourcezone 15a und die Drainzone 15b mit der niedrigen Konzentration zu bilden.

Gemäß Fig. 67 wird über die ganze Hauptfläche 2 des Siliciumsubstrats 1 ein Siliciumoxydfilm gebildet und dann dem anisotropen Ätzen unterzogen, wodurch Seitenwandisolerfilme 13a und 13b gebildet werden. Unter Verwendung der Nitriersperrmaske 21 und der Seitenwandisolerfilme 13a und 13b als Maske werden in das Siliciumsubstrat 1 Ionen implantiert, um eine Sourcezone 19a hoher Konzentration und eine Drainzone 19b hoher Konzentration gemäß Fig. 64 zu bilden.

### 16. Ausführungsbeispiel

Fig. 68 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem sechzehnten Ausführungsbeispiel.

Gleiche Bestandteile wie diejenigen des in Fig. 25 gezeigten Feldeffekttransistors sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Der in Fig. 56 gezeigte Feldeffekttransistor gemäß dem elften Ausführungsbeispiel hat Einzeldrainstruktur, wogegen der Transistor gemäß

dem sechzehnten Ausführungsbeispiel die LDD-Struktur hat. Eine mit 23 bezeichnete Ätzsperre spielt die gleiche Rolle wie die in Fig. 56 gezeigte Ätzsperre 23.

#### 17. Ausführungsbeispiel

Fig. 69 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem siebzehnten Ausführungsbeispiel. Auf der Hauptfläche eines Siliciumsubstrats 1 wird als Isolierfilm beispielsweise ein Siliciumoxydfilm 32 ausgebildet. Auf dem Siliciumoxydfilm 32 wird ein Film 33 aus monokristallinem oder polykristallinem Silicium gebildet. In dem Siliciumfilm 33 werden eine Sourcezone 19a hoher Konzentration, eine Sourcezone 15a niedriger Konzentration, eine Drainzone 15b niedriger Konzentration und eine Drainzone 19b hoher Konzentration gebildet. Ein Bereich der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern ist mit 4 bezeichnet. Ein Bereich der Injektion von beweglichen Kanallöchern bzw. Kanalelektronen ist mit 8 bezeichnet. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist die Erfindung auch bei einem Feldeffekttransistor anwendbar, der auf dem als Isolierschicht dienenden Siliciumoxydfilm 32 ausgebildet ist.

#### 18. Ausführungsbeispiel

Fig. 70 ist eine schematische Schnittansicht eines Feldeffekttransistors gemäß dem achtzehnten Ausführungsbeispiel.

Bei dem achtzehnten Ausführungsbeispiel wird die Erfindung bei einer CMOS-Schaltung angewandt. In einem Siliciumsubstrat 1 sind ein NMOS-Feldeffekttransistor 39 und ein PMOS-Feldeffekttransistor 41 ausgebildet. Eine P-Quelle und eine N-Quelle sind jeweils mit 35a und 35b bezeichnet.

In der P-Quelle 35a sind in Abstand voneinander eine Sourcezone 19a hoher Konzentration und eine Drainzone 19b hoher Konzentration ausgebildet. Zwischen der Sourcezone 19a und der Drainzone 19b mit der hohen Konzentration sind in Abstand voneinander eine Sourcezone 15a niedriger Konzentration und eine Drainzone 15b niedriger Konzentration ausgebildet. Auf einem Bereich 4 der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern ist ein nitrierter Oxydfilm 5b gebildet. Auf einem Bereich 8 der Injektion von beweglichen Kanalelektronen ist ein nitrierter Oxydfilm 5e gebildet. Mit 5a und 7a sind jeweils ein nitrierter Oxydfilm und eine Gateelektrode bezeichnet. Seitenwandisolierfilme sind mit 13a und 13b bezeichnet. Die Stickstoffkonzentration in den nitrierten Oxydfilmen 5a und 5b ist höher als diejenige in dem nitrierten Oxydfilm 5e.

In der N-Quelle 35b sind in Abstand voneinander eine Sourcezone 19a und eine Drainzone 19b hoher Konzentration ausgebildet. Auf dem Bereich 8 der Injektion beweglicher Kanallöcher ist ein nitrierter Oxydfilm 5f gebildet. Mit 5c und 5d sind nitrierte Oxydfilme bezeichnet. Da gemäß der Darstellung in Fig. 76 bei dem PMOS-Transistor irgendwelche Filme die gleiche Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern ergeben, muß nicht ein Film in Betracht gezogen werden, der auf dem Bereich der Injektion beweglicher Drain-Lawinenladungsträger gebildet ist. Die Stickstoffkonzentration in den nitrierten Oxydfilmen 5c und 5d ist höher als diejenige in dem nitrierten Oxydfilm 5f. Mit 7b ist eine Gateelektrode bezeichnet. Mit 13c und 13d sind Seitenwandisolierfilme bezeichnet.

Mit 37a, 37b und 37c sind Feld- bzw. Raster-Oxydfilme bezeichnet.

Der Grund dafür, warum der PMOS-Feldeffekttransistor 41 nicht LDD-Struktur hat, besteht darin, daß der Transistor nicht leicht in LDD-Struktur gestaltet werden kann, da der PMOS-Feldeffekttransistor einen großen Thermodiffusionskoeffizienten für Ionen zum Bilden eines Verunreinigungsereichs hat. Da ferner der PMOS-Feldeffekttransistor auch mit Einzeldrainstruktur eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern hat, besteht nicht die Anforderung, daß der Transistor LDD-Struktur erhält.

Wenn als Gateisolierfilm der nitrierte Oxydfilm 5e verwendet wird, wird im Vergleich zu dem Fall, daß als Gateisolierfilm ein Siliciumoxydfilm verwendet wird, in dem NMOS-Feldeffekttransistor 39 die Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung geringer und bei hoher Gatespannung größer. Ferner wird die Widerstandsfähigkeit gegenüber Drain-Lawinenladungsträgern verbessert, wogegen die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Kanalelektronen verschlechtert wird. Die Verringerung der Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung und die Verschlechterung der Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Kanalelektronen können dadurch vermieden werden, daß gemäß der Beschreibung des sechsten Ausführungsbeispiels die Nitrierung bei dem Formen des nitrierten Oxydfilms 5e verringert wird.

Bei dem PMOS-Transistor mit dem nitrierten Oxydfilm 5f als Gateisolierfilm ist die Stromsteuerfähigkeit bei irgendeiner Gatespannung im Vergleich zu dem Fall verringert, daß als Gateisolierfilm ein Siliciumoxydfilm verwendet wird. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern ist gleich oder geringfügig vermindert. Ferner ist die Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Kanallöchern verschlechtert. Diese Mängel können jedoch dadurch überwunden werden, daß bei dem Formen des nitrierten Oxydfilms 5f die Nitrierung verringert wird.

Gemäß einem ersten Gesichtspunkt bei der Erfindung wird auf einem Bereich 8 der Injektion von beweglichen Kanalladungsträgern ein Oxydfilm 9 mit Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Kanalladungsträgern gebildet. Auf diese Weise kann ein Feldeffekttransistor mit einer höheren Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern bei hoher Gatespannung auch dann gestaltet werden, wenn er einen nitrierten Oxydfilm 5 enthält. Außerdem wird auf einem Bereich 4 der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern ein nitrierter Oxydfilm 5 gebildet. Infolgedessen ergibt sich eine Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern bei niedriger Gatespannung, die ungefähr die gleiche Widerstandsfähigkeit wie in dem Fall ist, daß auf dem Bereich der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern ein Siliciumoxydfilm gebildet ist.

Gemäß einem zweiten Gesichtspunkt der Erfindung wird über dem Bereich 4 der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern und dem Bereich 8 der Injektion von beweglichen Kanalladungsträgern ein nitrierter Oxydfilm 5 gebildet, in welchem die Stickstoffkonzentration von einer Sourcezone 3a weg zu einer Drainzone 3b hin höher wird. Dies ermöglicht es, die gleiche Wirkung wie gemäß dem ersten Gesichtspunkt der Erfindung zu erzielen.

Gemäß einem dritten Gesichtspunkt der Erfindung ist es möglich, eine Struktur in dem Fall herzustellen, daß in einem Oxydfilm 9 gemäß dem ersten Gesichtspunkt die

Stickstoffkonzentration "0" ist.

Gemäß einem vierten Gesichtspunkt der Erfindung wird eine Struktur in dem Fall hergestellt, daß in einem Oxydfilm gemäß dem ersten Gesichtspunkt die Stickstoffkonzentration "0" ist. Ferner wird ein auf dem Bereich 4 der Injektion beweglicher Drain-Lawinenladungsträger gebildeter, durch Ätzen beschädigter Siliciumoxydfilm entfernt und auf dem Bereich 4 ein neuer nitrierter Oxydfilm 5 gebildet. Infolgedessen kann ein nitrierter Oxydfilm mit einem niedrigeren Grenzflächenzustand erhalten werden.

Gemäß einem fünften Gesichtspunkt der Erfindung wird ein Feldeffekttransistor mit zweierlei nitrierten Oxydfilmen 5 bzw. 5b hergestellt, die voneinander verschiedene Stickstoffkonzentrationen haben.

Es werden ein Feldeffekttransistor, der höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber beweglichen Ladungsträgern hat und selbst bei niedriger Gatespannung eine stärkere Stromsteuerfähigkeit zeigt, und ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Transistors angegeben. Auf einem Bereich der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern wird ein nitrierter Oxydfilm ausgebildet. Der nitrierte Oxydfilm ist im Vergleich zu einem Siliciumoxydfilm sehr widerstandsfähig gegenüber beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern.

Auf einem Bereich der Injektion von beweglichen Kanalelektronen wird der Siliciumoxydfilm ausgebildet. Der Siliciumoxydfilm ist im Vergleich zu dem nitrierten Oxydfilm sehr widerstandsfähig gegenüber beweglichen Kanalelektronen. Ein großer Teil eines Gateisolierfilms ist ein Siliciumoxydfilm. Der Siliciumoxydfilm zeigt im Vergleich zu dem nitrierten Oxydfilm eine höhere Stromsteuerfähigkeit bei niedriger Gatespannung.

#### Patentansprüche

1. Feldeffekttransistor zum Steuern eines Ladungsträgerstromes durch eine an eine Gateelektrode angelegte Spannung, mit einem Halbleitersubstrat mit einer Hauptfläche und einer Sourcezone und einer Drainzone, die in Abstand voneinander in dem Halbleitersubstrat ausgebildet sind, **gekennzeichnet durch** einen auf der Hauptfläche (2) gebildeten nitrierten Oxydfilm (5) und einen auf der Hauptfläche gebildeten Oxydfilm (9), der eine Stickstoffkonzentration hat, die gleich 0 oder niedriger als die Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm ist, wobei auf dem Oxydfilm die Gateelektrode (7) gebildet ist.
2. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der nitrierte Oxydfilm (5) auf einem Bereich (4) der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern in der Hauptfläche (2) gebildet ist und der Oxydfilm (9) auf einem Bereich (8) der Injektion von beweglichen Kanalladungsträgern in der Hauptfläche gebildet ist.
3. Feldeffekttransistor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Sourcezone (3a) aus einer Sourcezone (19a) hoher Konzentration und einer Sourcezone (15a) niedriger Konzentration besteht und die Drainzone (3b) aus einer Drainzone (19b) hoher Konzentration und einer Drainzone (15b) niedriger Konzentration besteht, wobei die Sourcezone (19a) und die Drainzone (19b) mit der hohen Konzentration in Abstand voneinander in dem Halbleitersubstrat (1) ausgebildet sind, die Sourcezone (15a) niedriger Konzentration in Kontakt mit der Sourcezone (19a) hoher Konzentration in dem

Halbleitersubstrat (1) zwischen der Sourcezone (19a) hoher Konzentration und der Drainzone (19b) hoher Konzentration ausgebildet ist und die Drainzone (15b) niedriger Konzentration in Kontakt mit der Drainzone (19b) hoher Konzentration in dem Halbleitersubstrat (1) zwischen der Sourcezone (19a) und der Drainzone (19b) mit der hohen Konzentration ausgebildet ist.

4. Feldeffekttransistor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß in der Hauptfläche (2) der Bereich (4) der Injektion von beweglichen Drain-Lawinenladungsträgern an der nahe der Grenze zwischen der Drainzone (15b) niedriger Konzentration und der Drainzone (19b) hoher Konzentration gelegenen Drainzone (15b) niedriger Konzentration gebildet ist.

5. Feldeffekttransistor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Sourcezone (15a) niedriger Konzentration und der Drainzone (15b) niedriger Konzentration eine Kanalzone (11) gebildet ist und daß in der Hauptfläche (2) der Bereich (8) der Injektion von beweglichen Kanalladungsträgern an der nahe der Grenze zwischen der Drainzone (15b) niedriger Konzentration und der Kanalzone (11) liegenden Kanalzone (11) gebildet ist.

6. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der nitrierte Oxydfilm (5b) derart ausgebildet ist, daß er sich von der Hauptfläche (2) auf der Grenze zwischen der Drainzone (19b) hoher Konzentration und der Drainzone (15b) niedriger Konzentration bis zu der Hauptfläche (2) auf der Grenze zwischen der Drainzone (15b) niedriger Konzentration und einer anschließenden Kanalzone (11) erstreckt.

7. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Oxydfilm (9) und der nitrierte Oxydfilm (5) als Gateisolierfilm ausgebildet sind, wobei mindestens die Hälfte des Volumens des Gateisolierfilms der Oxydfilm ist.

8. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Oxydfilm (9) und der nitrierte Oxydfilm (5a, 5b) als Gateisolierfilm ausgebildet sind, wobei mindestens die Hälfte des Volumens des Gateisolierfilms der nitrierte Oxydfilm ist.

9. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der nitrierte Oxydfilm (5) die Gateelektrode (7) überdeckt.

10. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß sich der nitrierte Oxydfilm (5b) unter einem Seitenteil der Gateelektrode (7) erstreckt und daß der neben der Gateelektrode (7) ausgebildete nitrierte Oxydfilm (5b) eine Dicke hat, die geringer als die Dicke des unterhalb der Gateelektrode (7) gebildeten nitrierten Oxydfilms (5b) ist.

11. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Gateelektrode (7) ein Nitriersperrfilm (21) zum Verhindern des Nitrierens des Oxydfilms (9) gebildet ist.

12. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß seitlich der Gateelektrode (7) ein Seitenwandfilm (13a, 13b) gebildet ist und auf der Gateelektrode eine Ätzsperre (23) zum Verhindern des Ätzens der Gateelektrode bei dem Formen des Seitenwandfilms gebildet ist.

13. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche

1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß seitlich der Gateelektrode (7) ein Seitenwandfilm (13a, 13b) mit Leitfähigkeit gebildet ist und zwischen dem Seitenwandfilm und der Gateelektrode ein Isolierfilm (25) gebildet ist, der einen Tunneleffekt verursacht. 5

14. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Seitenteil (27a, 27b) der Gateelektrode (7) eine Dicke hat, die kleiner als die Dicke eines mittigen Teils (33) der Gateelektrode ist, und daß der nitrierte Oxydfilm (5a, 5b) unterhalb des Seitenteils der Gateelektrode ausgebildet ist. 10

15. Feldeffekttransistor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem mittleren Teil der Gateelektrode (7) ein Nitriersperrfilm (21) zum Verhindern des Nitrierens des Oxydfilms (9) gebildet ist. 15

16. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Transistor auf einem auf der Hauptfläche gebildeten Isolierfilm (32) ausgebildet ist. 20

17. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Oxydfilm (9) einen Siliciumoxydfilm enthält.

18. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Oxydfilm (9) einen nitrierten Oxydfilm enthält. 25

19. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Feldeffekttransistor ein N-Transistor ist. 30

20. Feldeffekttransistor mit LDD-Struktur, der ein Halbleitersubstrat mit einer Hauptfläche, eine Sourcezone hoher Konzentration und eine Drainzone hoher Konzentration, die in Abstand voneinander in dem Halbleitersubstrat ausgebildet sind, eine Sourcezone niedriger Konzentration, die in Kontakt mit der Sourcezone hoher Konzentration in dem Halbleitersubstrat zwischen der Sourcezone und der Drainzone mit der hohen Konzentration ausgebildet ist, eine Drainzone niedriger Konzentration, die in Kontakt mit der Drainzone hoher Konzentration in dem Halbleitersubstrat zwischen der Sourcezone und der Drainzone mit der hohen Konzentration ausgebildet ist, und eine Kanalzone aufweist, die zwischen der Sourcezone niedriger Konzentration und der Drainzone niedriger Konzentration gebildet ist, gekennzeichnet durch einen nitrierten Oxydfilm (5b), der auf der Hauptfläche (2) auf der nahe an der Grenze zwischen der Drainzone (15b) niedriger Konzentration und der Drainzone (19b) hoher Konzentration liegenden Drainzone (15b) niedriger Konzentration gebildet ist, und einen Oxydfilm (9), der auf der Hauptfläche auf der Kanalzone (11) gebildet ist, eine Stickstoffkonzentration hat, die gleich Null oder niedriger als die Stickstoffkonzentration in dem nitrierten Oxydfilm ist, und auf dem eine Gateelektrode (7) gebildet ist. 35 40 45 50 55

21. Feldeffekttransistor nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß sich der nitrierte Oxydfilm (5b) über die Hauptfläche (2) an der Grenze zwischen der Kanalzone (11) und der Drainzone (15b) niedriger Konzentration erstreckt. 60

22. Feldeffekttransistor zum Steuern eines Ladungsträgerstroms durch eine an eine Gateelektrode angelegte Spannung, mit einem Halbleitersubstrat mit einer Hauptfläche und einer Sourcezone und einer Drainzone, die in Abstand voneinander in dem Halbleitersubstrat ausgebildet sind, gekennzeichnet durch einen nitrierten Oxydfilm (5), der auf der Hauptfläche (2) gebildet ist und eine Stickstoffkonzentration hat, die von der Sourcezone (3a) weg zu der Drainzone (3b) hin zunimmt, wobei die Gateelektrode (7) auf dem nitrierten Oxydfilm gebildet ist. 65

zeichnet durch einen nitrierten Oxydfilm (5), der auf der Hauptfläche (2) gebildet ist und eine Stickstoffkonzentration hat, die von der Sourcezone (3a) weg zu der Drainzone (3b) hin zunimmt, wobei die Gateelektrode (7) auf dem nitrierten Oxydfilm gebildet ist.

23. Feldeffekttransistor zum Steuern eines Ladungsträgerstroms durch eine an eine Gateelektrode angelegte Spannung, mit einem Halbleitersubstrat mit einer Hauptfläche und einer Sourcezone und einer Drainzone, die in Abstand voneinander in dem Halbleitersubstrat ausgebildet sind, gekennzeichnet durch eine auf der zwischen der Sourcezone (15a, 19a) und der Drainzone (15b, 19b) liegenden Hauptfläche (2) gebildeten nitrierten Oxydfilm (5), auf dem die Gateelektrode (7) gebildet ist, und auf dem nitrierten Oxydfilm gebildete Seitenwandfilme (13a, 13b), zwischen die die Gateelektrode eingefaßt ist.

24. Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors zum Steuern eines Ladungsträgerstroms durch eine an eine Gateelektrode angelegte Spannung, dadurch gekennzeichnet, daß auf einer Hauptfläche eines Halbleitersubstrats ein Siliciumoxydfilm gebildet wird, auf dem Siliciumoxydfilm eine Gateelektrode gebildet wird, der nahe an einem Seitenteil der Gateelektrode liegende Siliciumoxydfilm zu einem nitrierten Oxydfilm umgeformt wird und in dem Halbleitersubstrat unter Verwendung der Gateelektrode als Maske eine Sourcezone und eine Drainzone ausgebildet werden.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Bilden des nitrierten Oxydfilms eine Nitriertemperatur von 1000°C oder höher angewandt wird.

26. Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors zum Steuern eines Ladungsträgerstroms durch eine an eine Gateelektrode angelegte Spannung, dadurch gekennzeichnet, daß auf einer Hauptfläche eines Halbleitersubstrats ein Siliciumoxydfilm gebildet wird, auf dem Siliciumoxydfilm eine Gateelektrode gebildet wird, der nahe an einem Seitenteil der Gateelektrode liegende Siliciumoxydfilm entfernt wird, an der Stelle, an der der Siliciumoxydfilm entfernt ist, ein nitrierter Oxydfilm gebildet wird und unter Verwendung der Gateelektrode als Maske in dem Halbleitersubstrat eine Sourcezone und eine Drainzone ausgebildet werden.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Bilden des nitrierten Oxydfilms eine Nitriertemperatur von 1000°C oder höher angewandt wird.

28. Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors zum Steuern eines Ladungsträgerstroms durch eine an eine Gateelektrode angelegte Spannung, dadurch gekennzeichnet, daß auf einer Hauptfläche eines Halbleitersubstrats ein erster nitrierter Oxydfilm gebildet wird, daß auf dem ersten nitrierten Oxydfilm eine Gateelektrode gebildet wird, daß der nahe an einem Seitenteil der Gateelektrode liegende erste nitrierte Oxydfilm entfernt wird, daß an der Stelle, an der der erste nitrierte Oxydfilm entfernt ist, ein zweiter nitrierter Oxydfilm mit einer Stickstoffkonzentration gebildet wird, die höher als die Stickstoffkonzentration in dem ersten nitrierten Oxydfilm ist, und daß unter

Verwendung der Gateelektrode als Maske in dem Halbleitersubstrat eine Sourcezone und eine Drainzone ausgebildet werden.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Bilden des ersten nitrierten Oxydfilms eine Nitriertemperatur von 1000°C oder höher angewandt wird. 5

30. Verfahren nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Bilden des zweiten nitrierten Oxydfilms eine Nitriertemperatur von 900°C oder darunter angewandt wird. 10

31. Feldeffekttransistor, der ein Halbleitersubstrat mit einer Hauptfläche, eine Sourcezone und eine Drainzone, die in Abstand voneinander in der Hauptfläche des Substrats ausgebildet sind und zwischen denen eine Kanalzone gebildet ist, einen Gateisolierfilm, der zumindest über der Kanalzone auf der Hauptfläche des Substrats liegt, und eine Gateelektrode auf dem Gateisolierfilm aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß der Gateisolierfilm jeweils einen ersten Bereich (8) aus Siliciumoxyd (9) und einen zweiten Bereich (4) aus nitriertem Oxyd (5) enthält. 15 20

32. Feldeffekttransistor nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite Bereich (8, 4) aneinander in Kanallängsrichtung zwischen der Sourcezone (3a) und der Drainzone (3b) in dem Substrat (1) angrenzen. 25

33. Feldeffekttransistor nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Bereich (4) aus dem nitrierten Oxyd (5) näher an der Drainzone (3b) liegt als der erste Bereich (8) aus dem Siliciumoxyd (9). 30

34. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 31 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Drainzone aneinandergrenzende Zonen (19b, 15b) hoher bzw. niedriger Konzentration umfaßt, wobei die Zone (15b) niedriger Konzentration näher an der Kanalzone (11) liegt als die Zone (19b) hoher Konzentration, und daß der Nitrieroxydbereich des Gateisolierfilms über der Grenzfläche zwischen den Zonen hoher und niedriger Konzentration in dem Substrat liegt. 35 40

35. Feldeffekttransistor nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich aus Siliciumoxyd über der Kanalzone (11) in dem Substrat (1) liegt. 45

36. Feldeffekttransistor nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich aus Siliciumoxyd sich geringfügig über die Kanalzone (11) hinaus erstreckt und einen Teil der Zone (15b) niedriger Konzentration in dem Substrat (1) überdeckt. 50

37. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 31 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Gateelektrode (7) von einem Seitenwandisolierfilm (13a, 13b) umgeben ist, unter dem sich der Gateisolierfilm erstreckt. 55

Hierzu 39 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

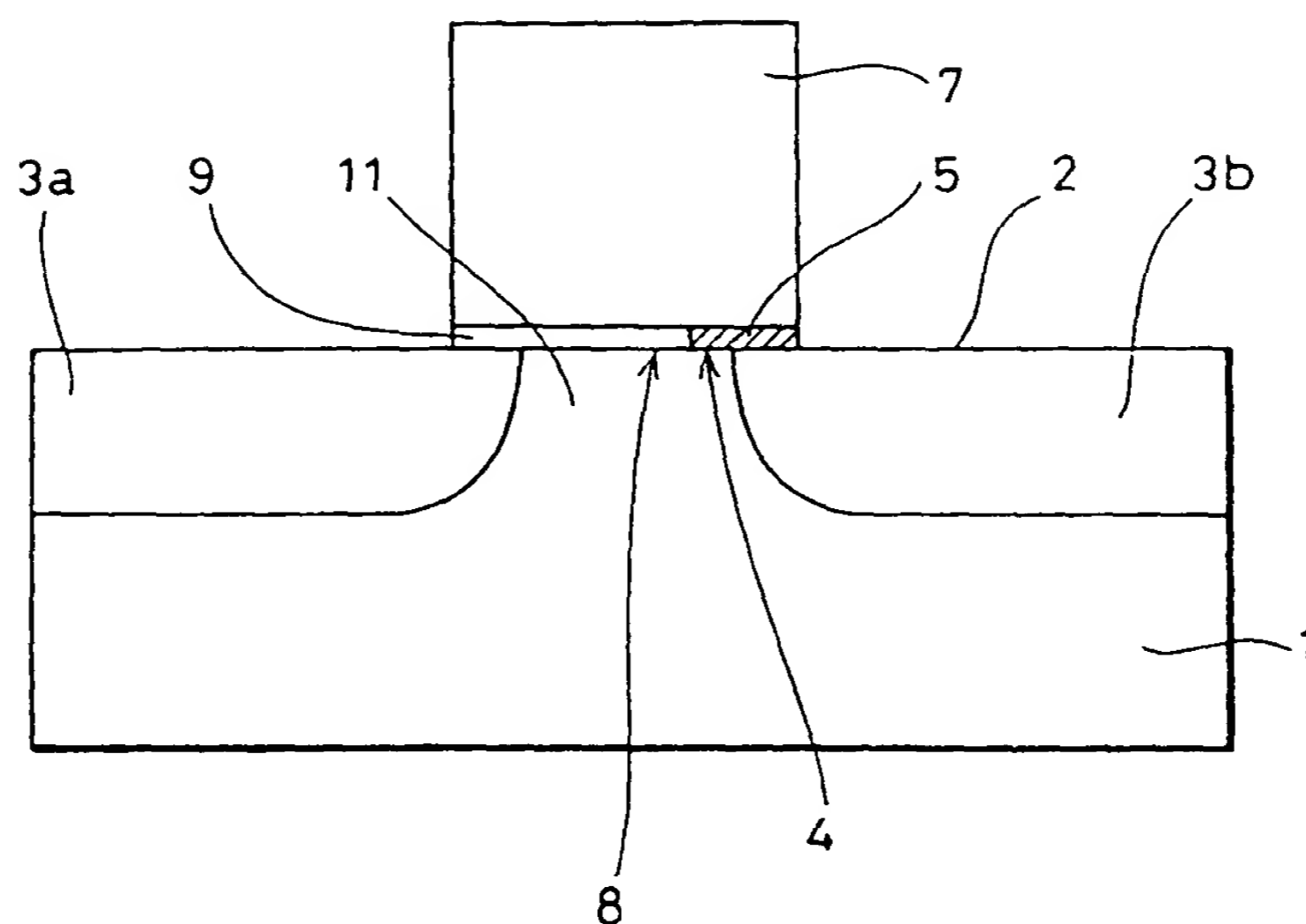


FIG. 2

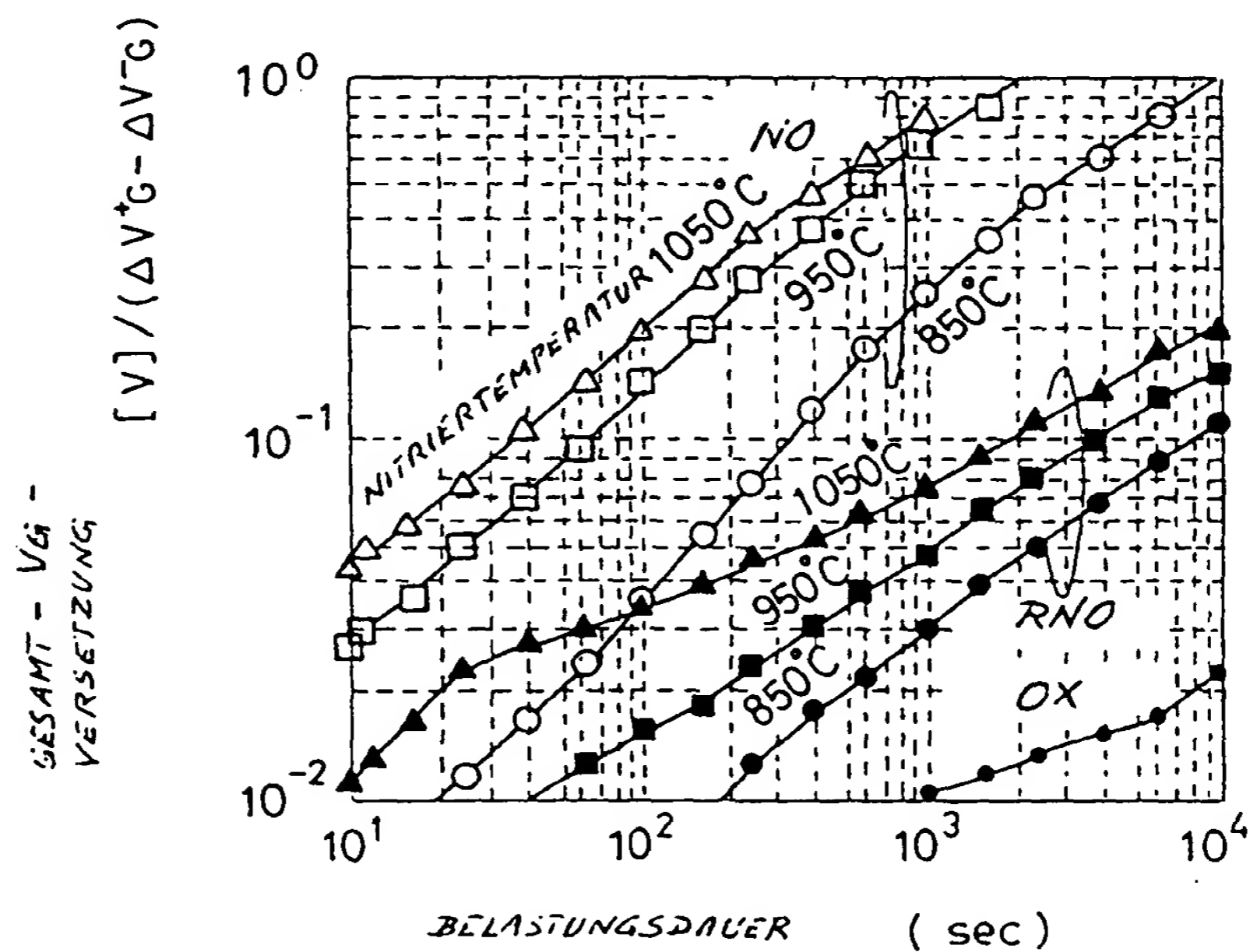


FIG. 3

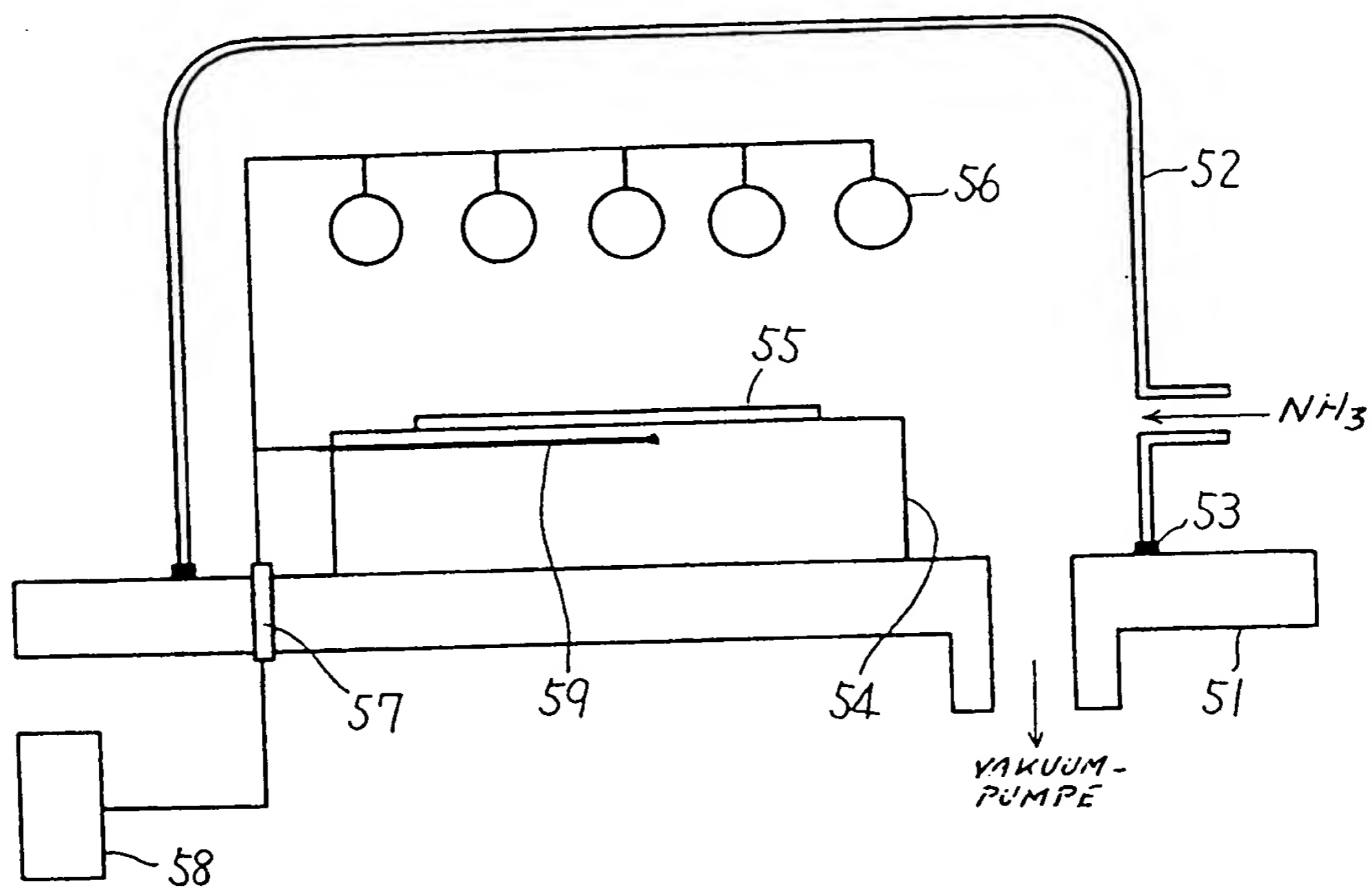


FIG. 4

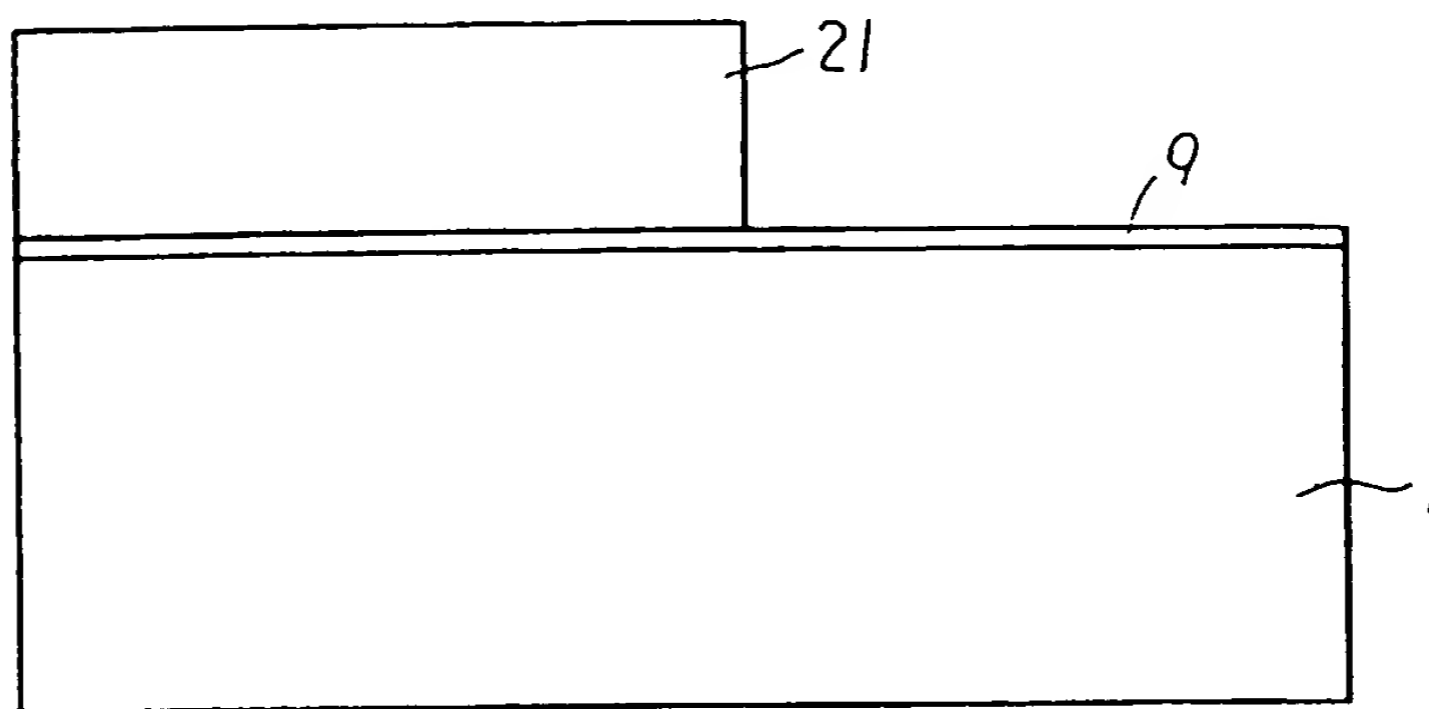


FIG. 5

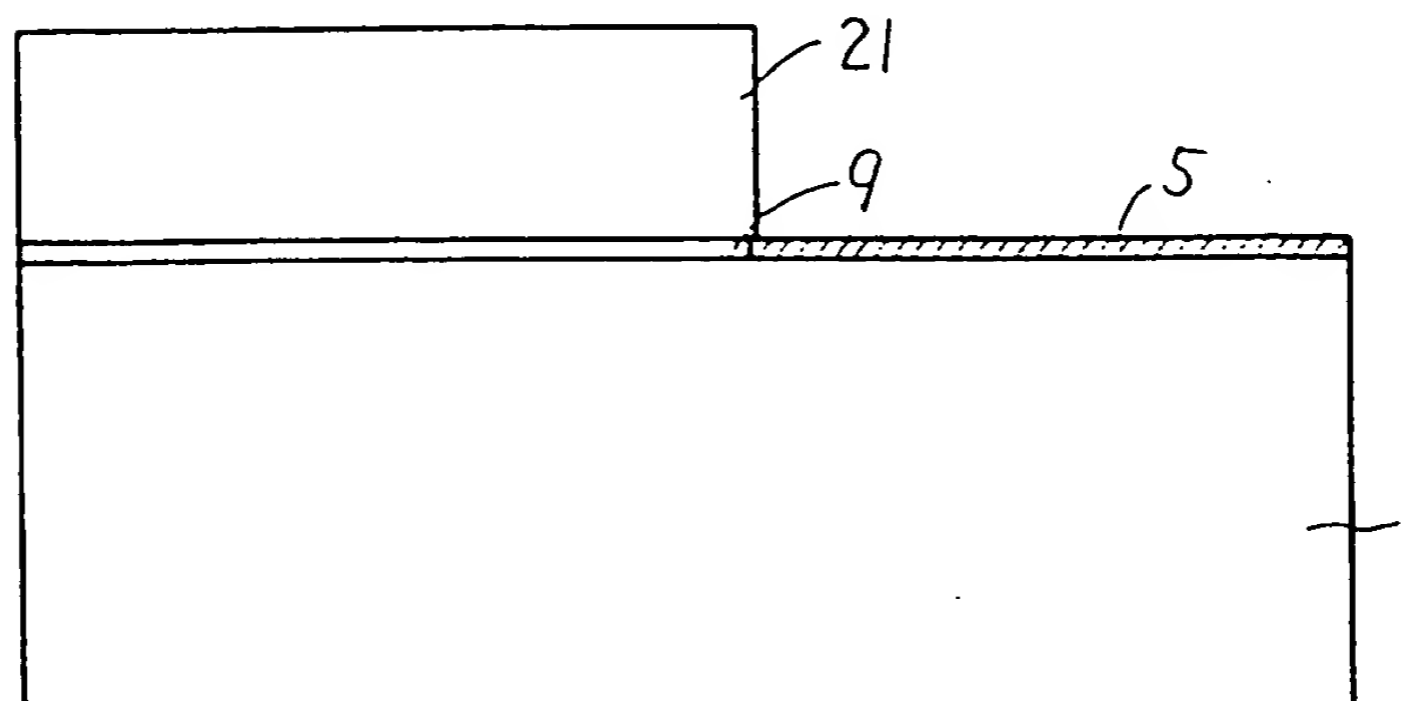


FIG. 6

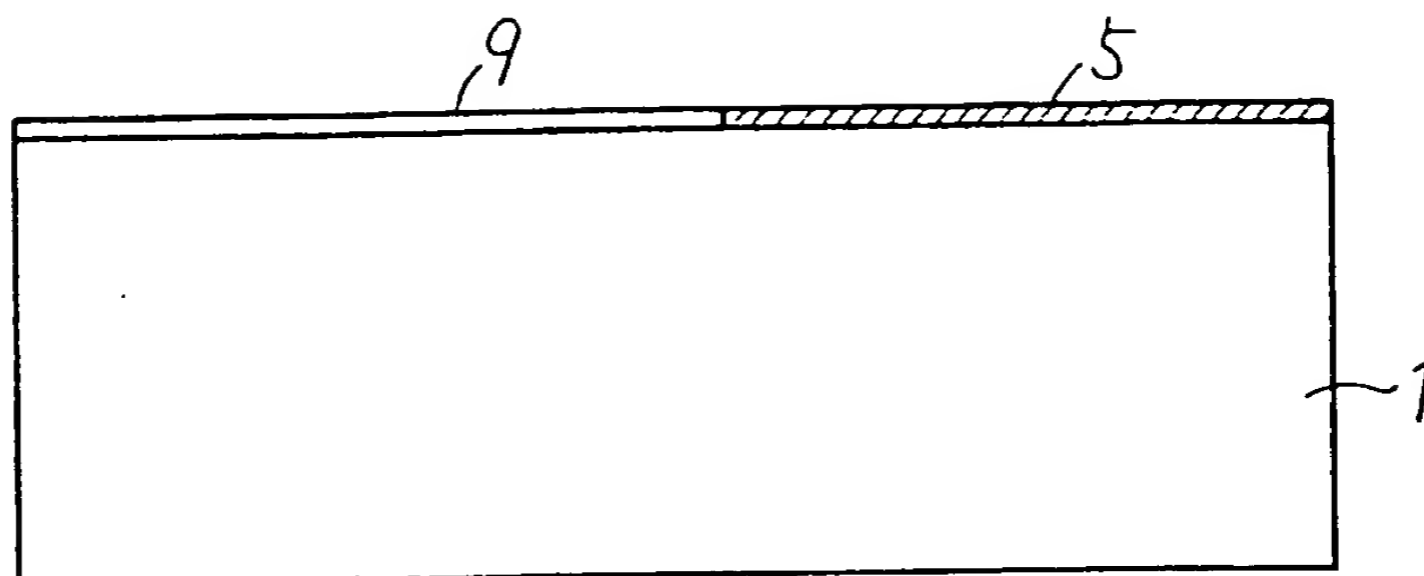


FIG. 7

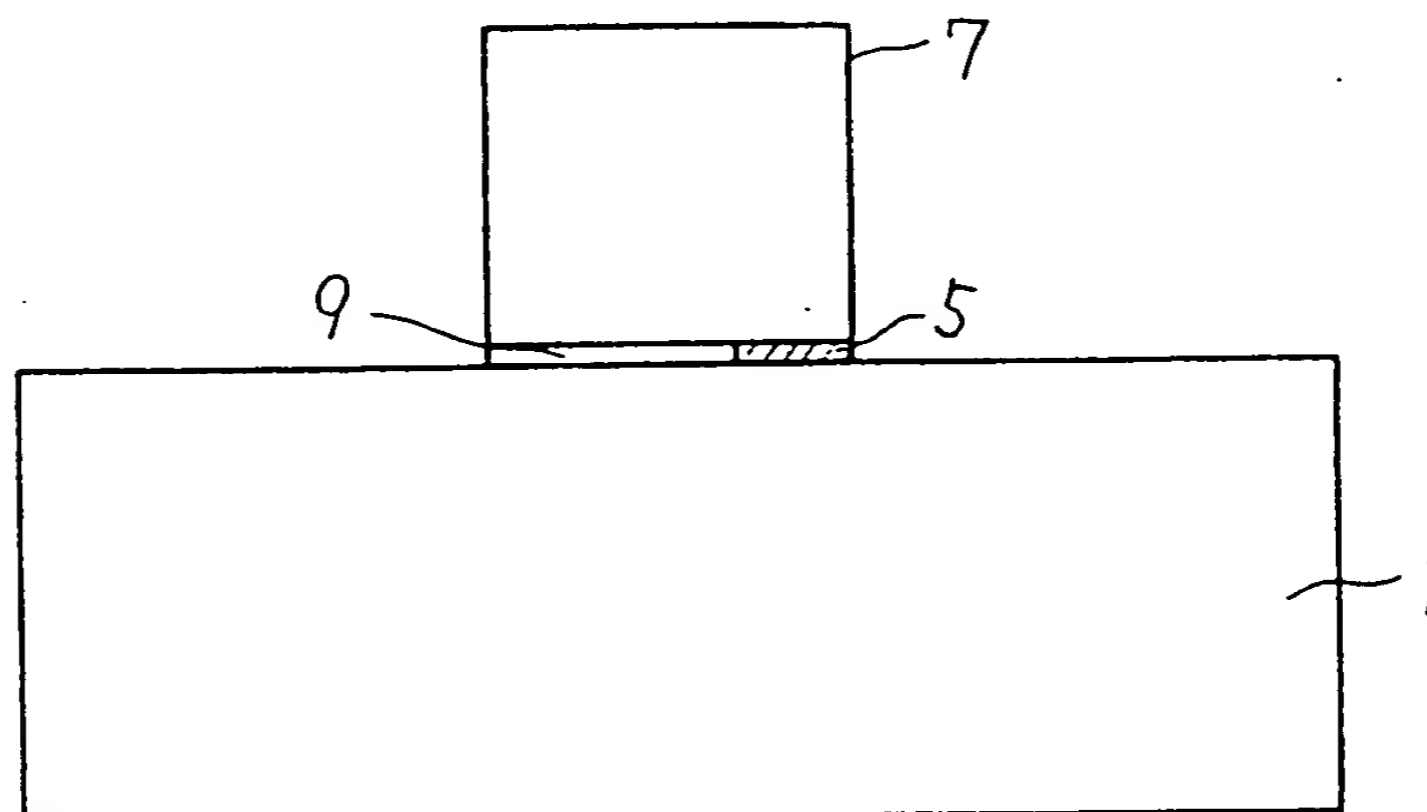


FIG. 8

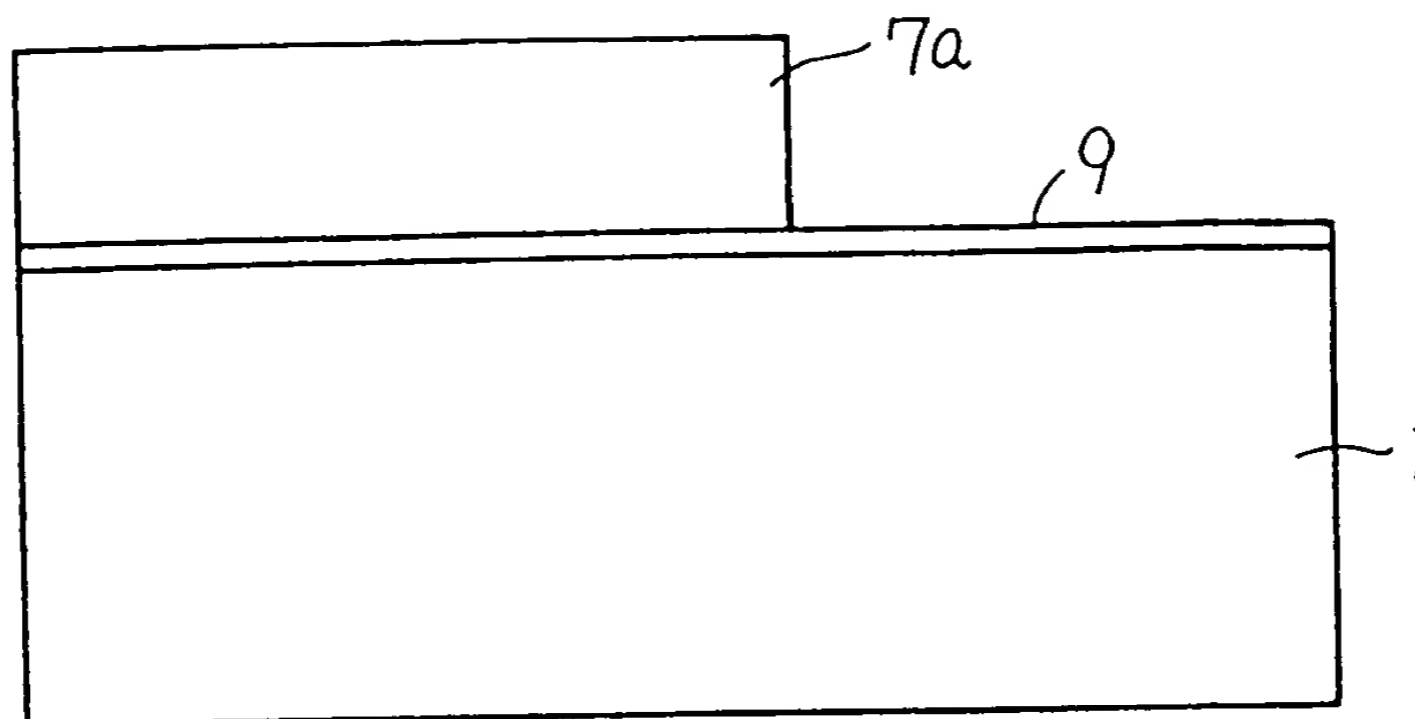


FIG. 9

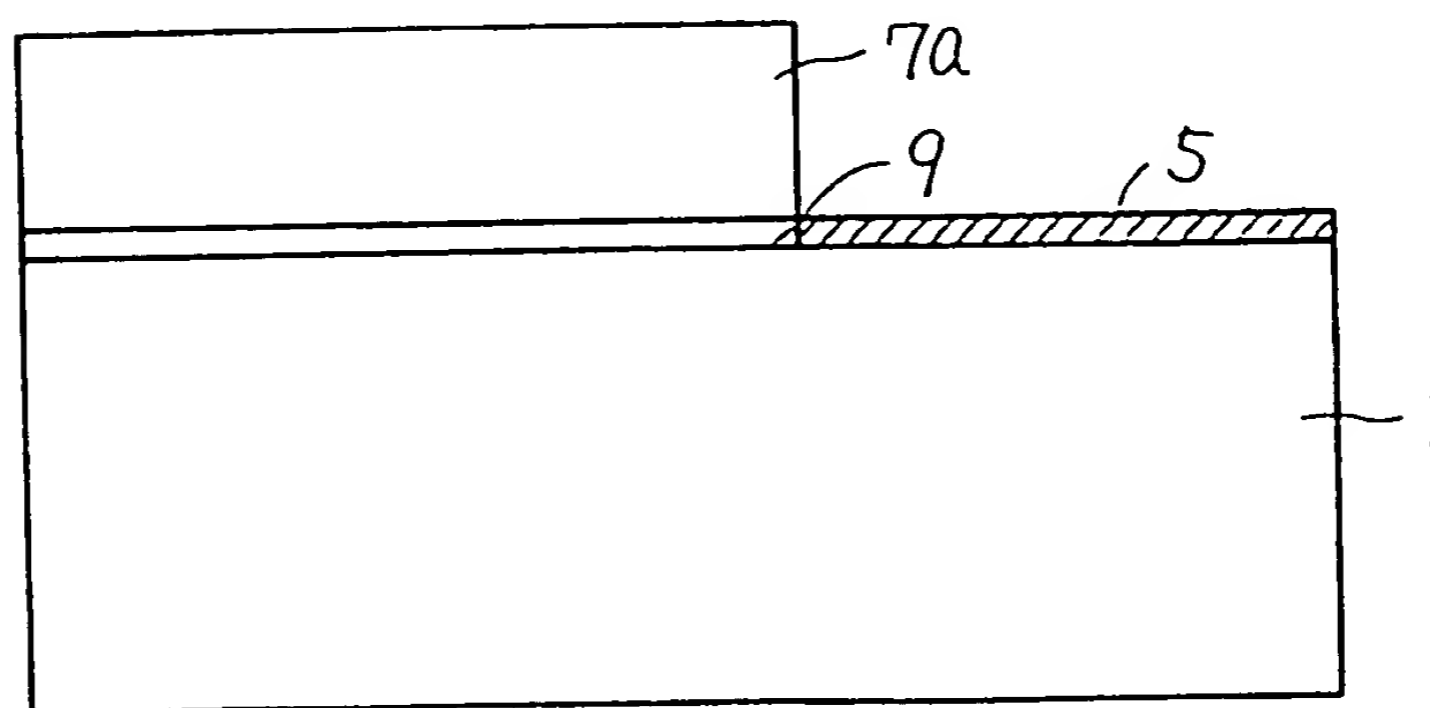


FIG. 10

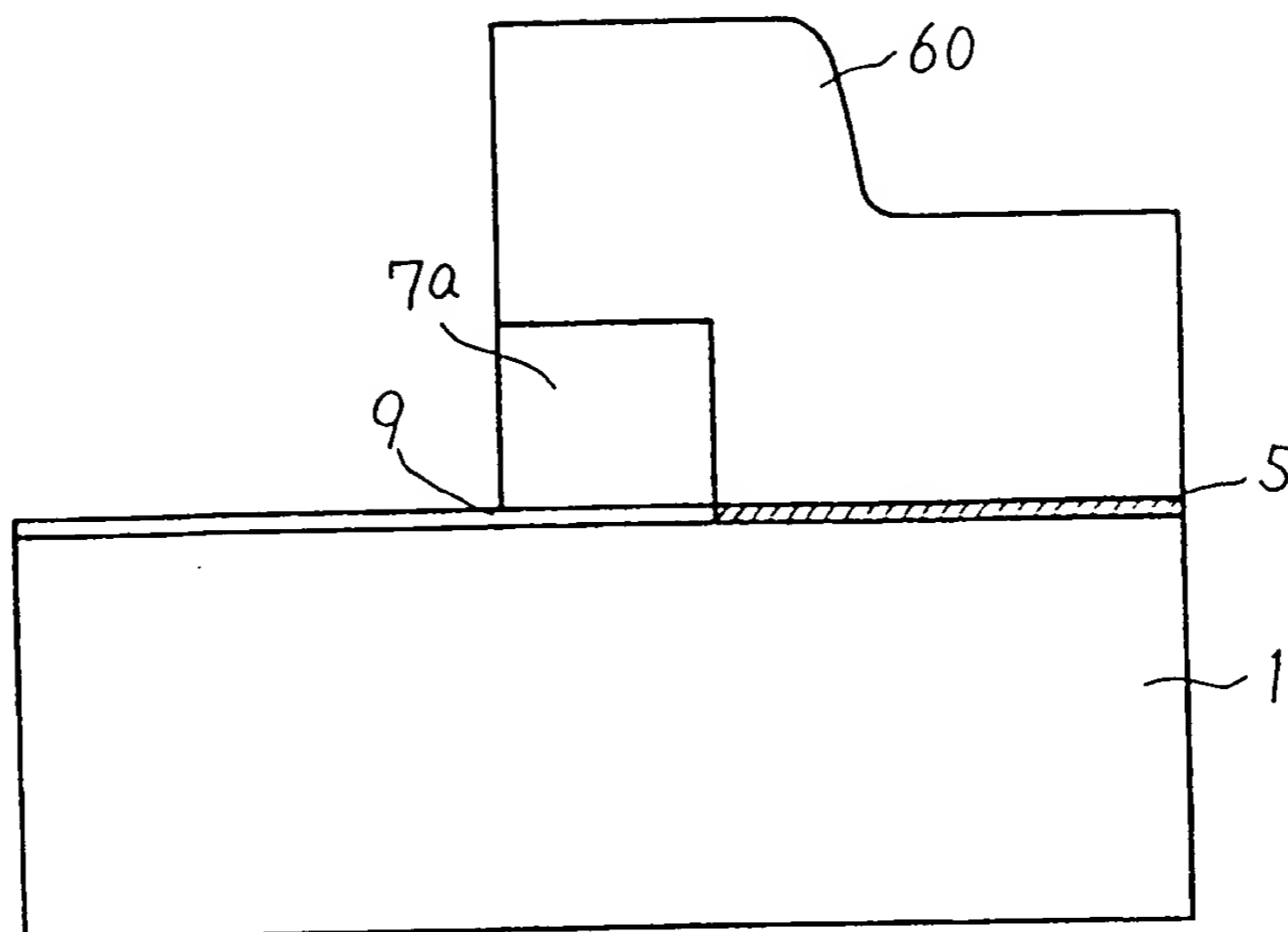


FIG. 11

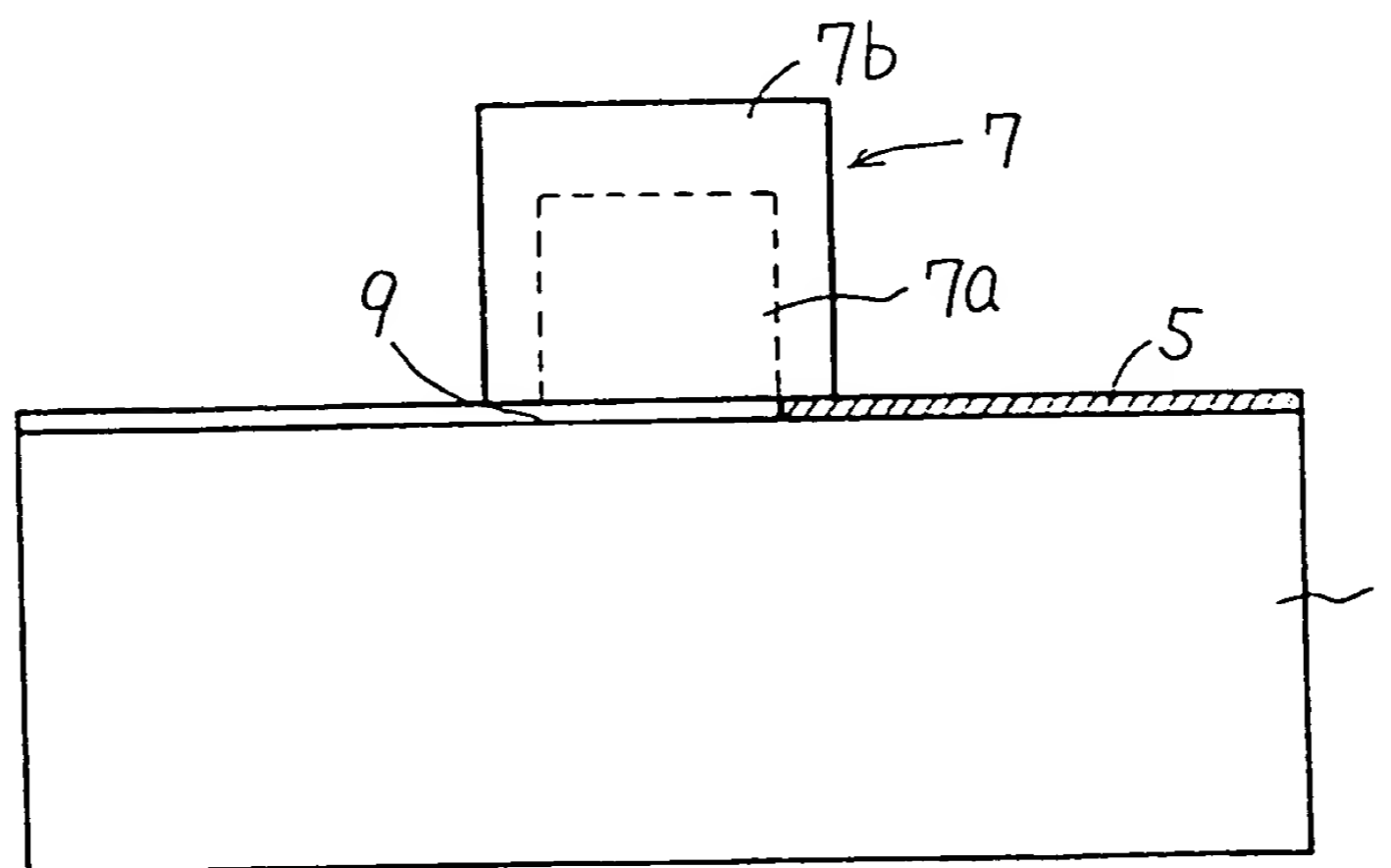


FIG. 12

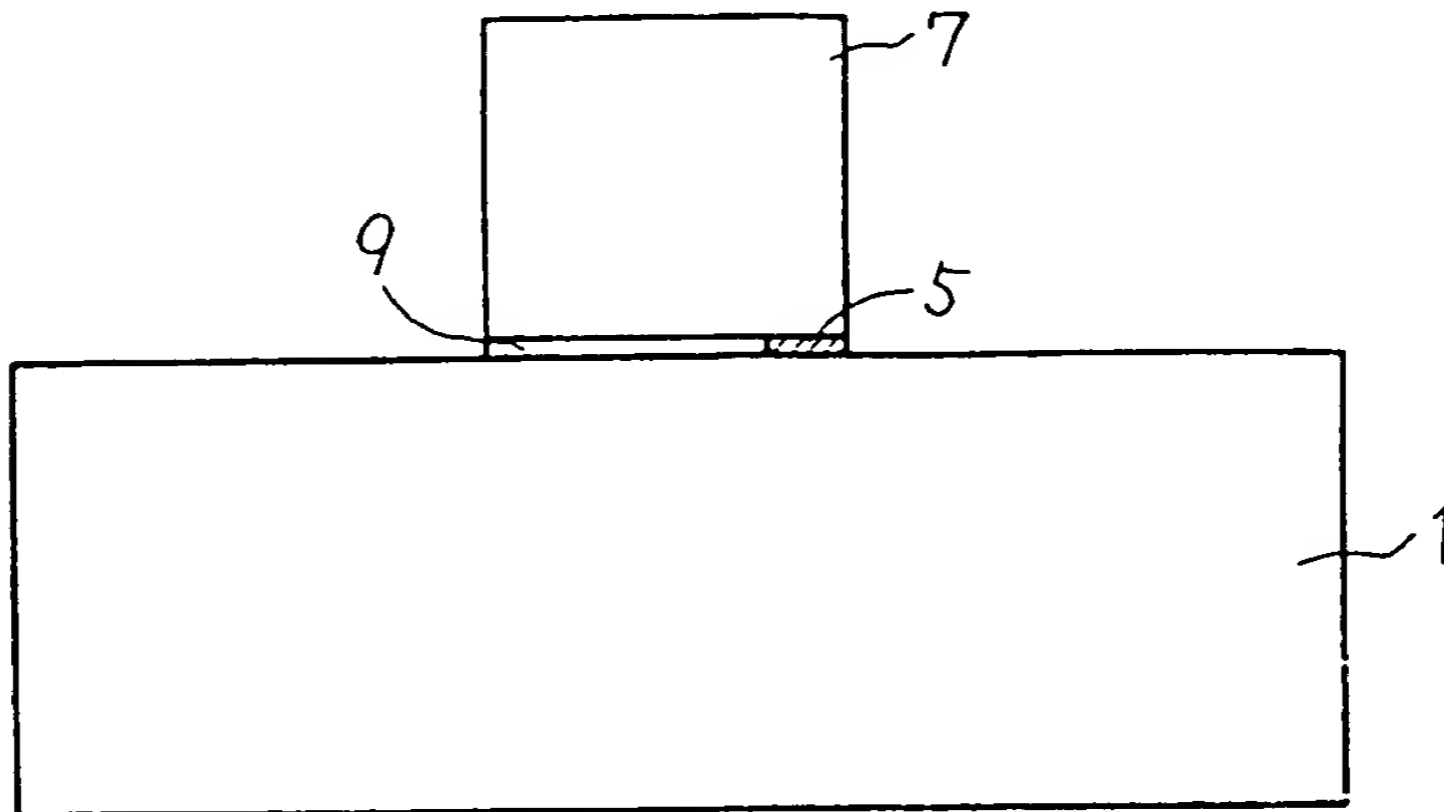


FIG. 13

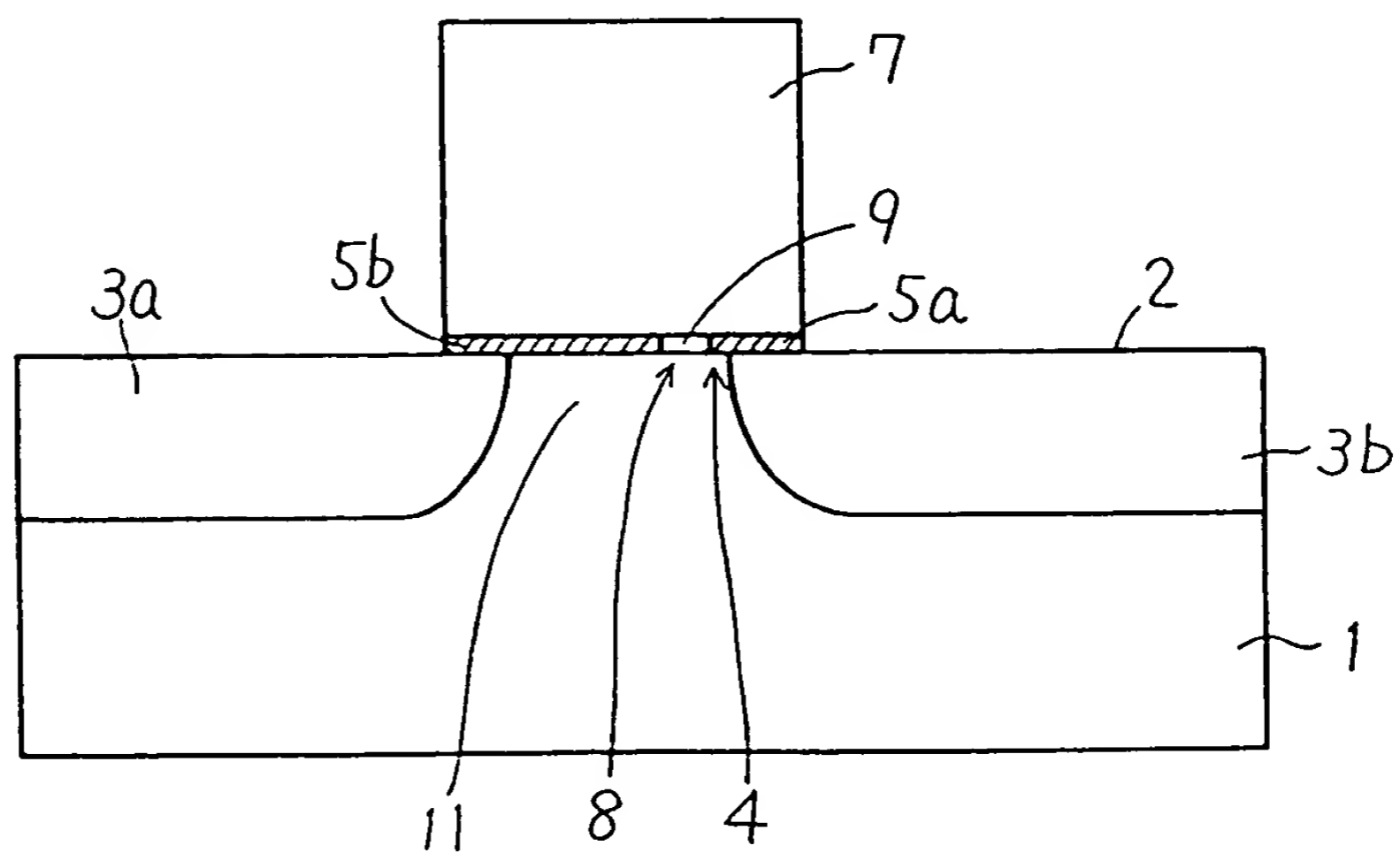


FIG. 14

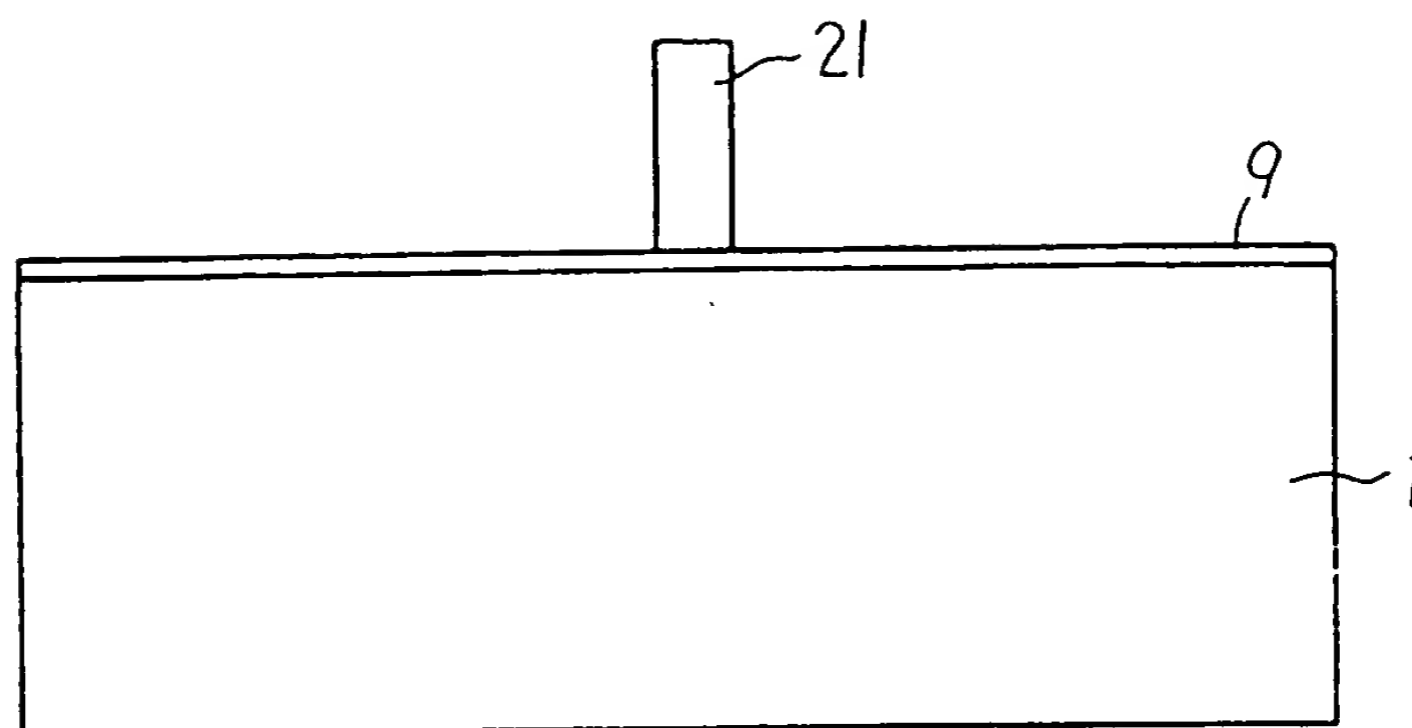


FIG. 15

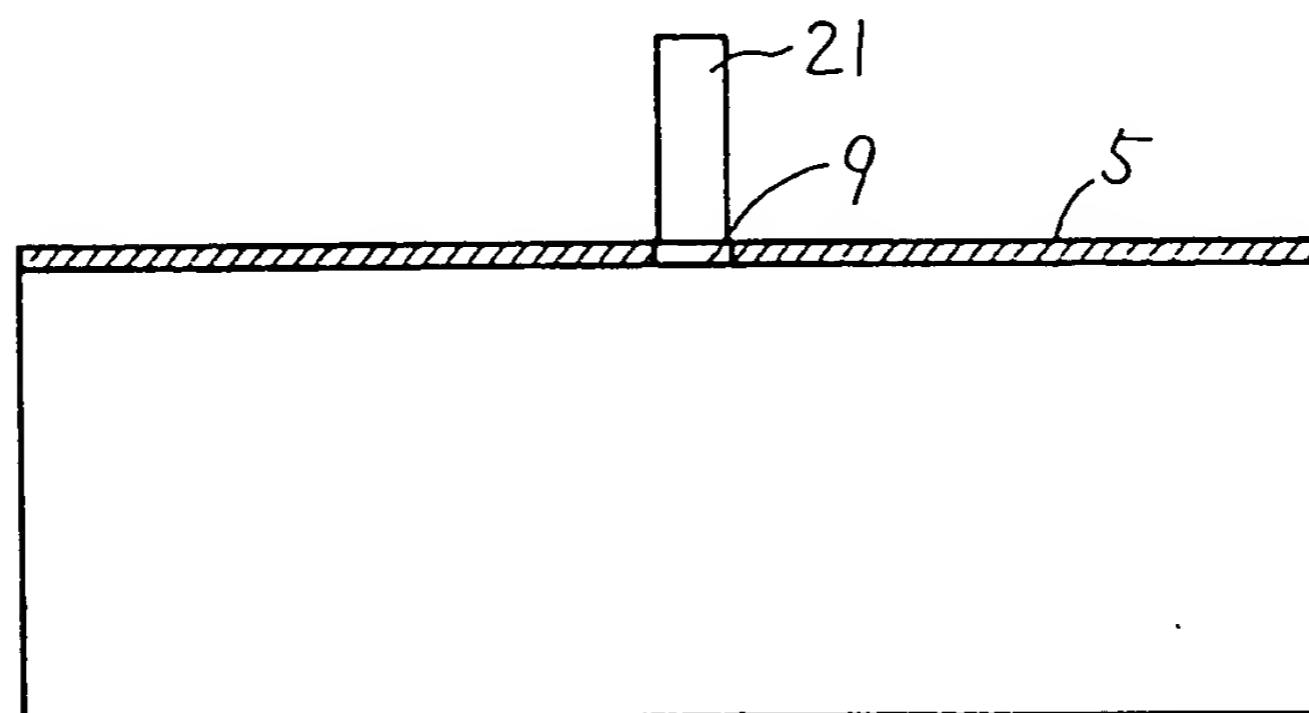


FIG. 16

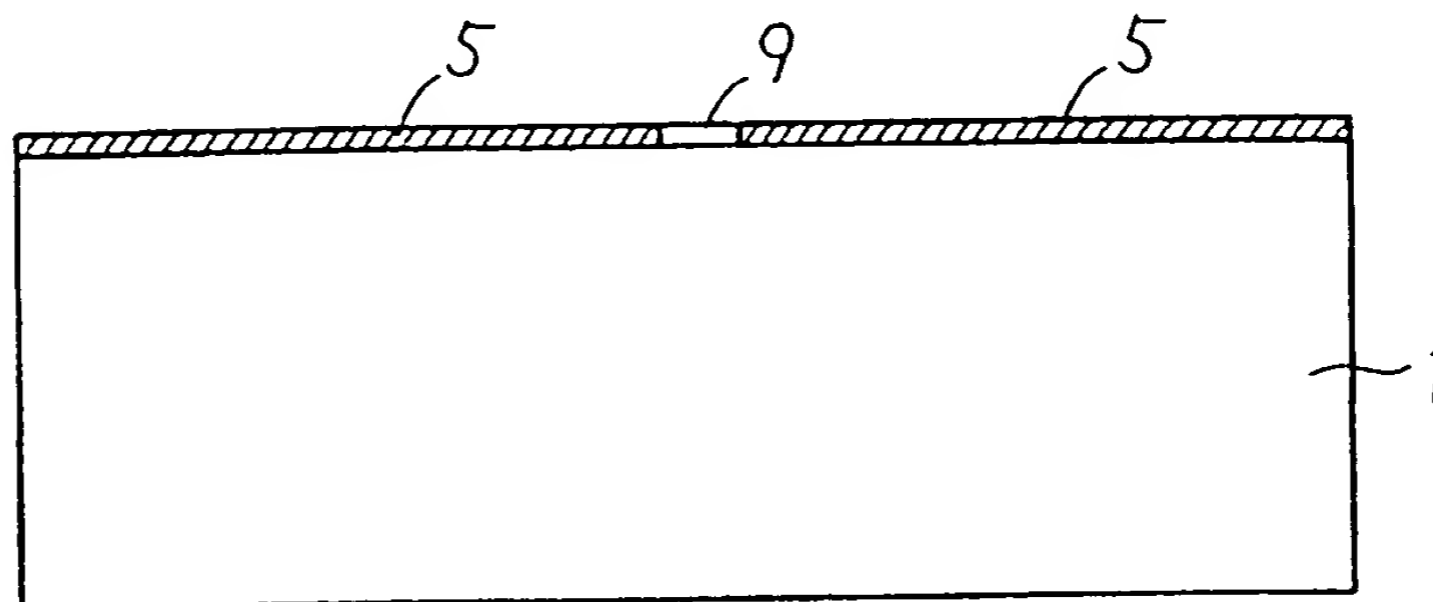


FIG. 17

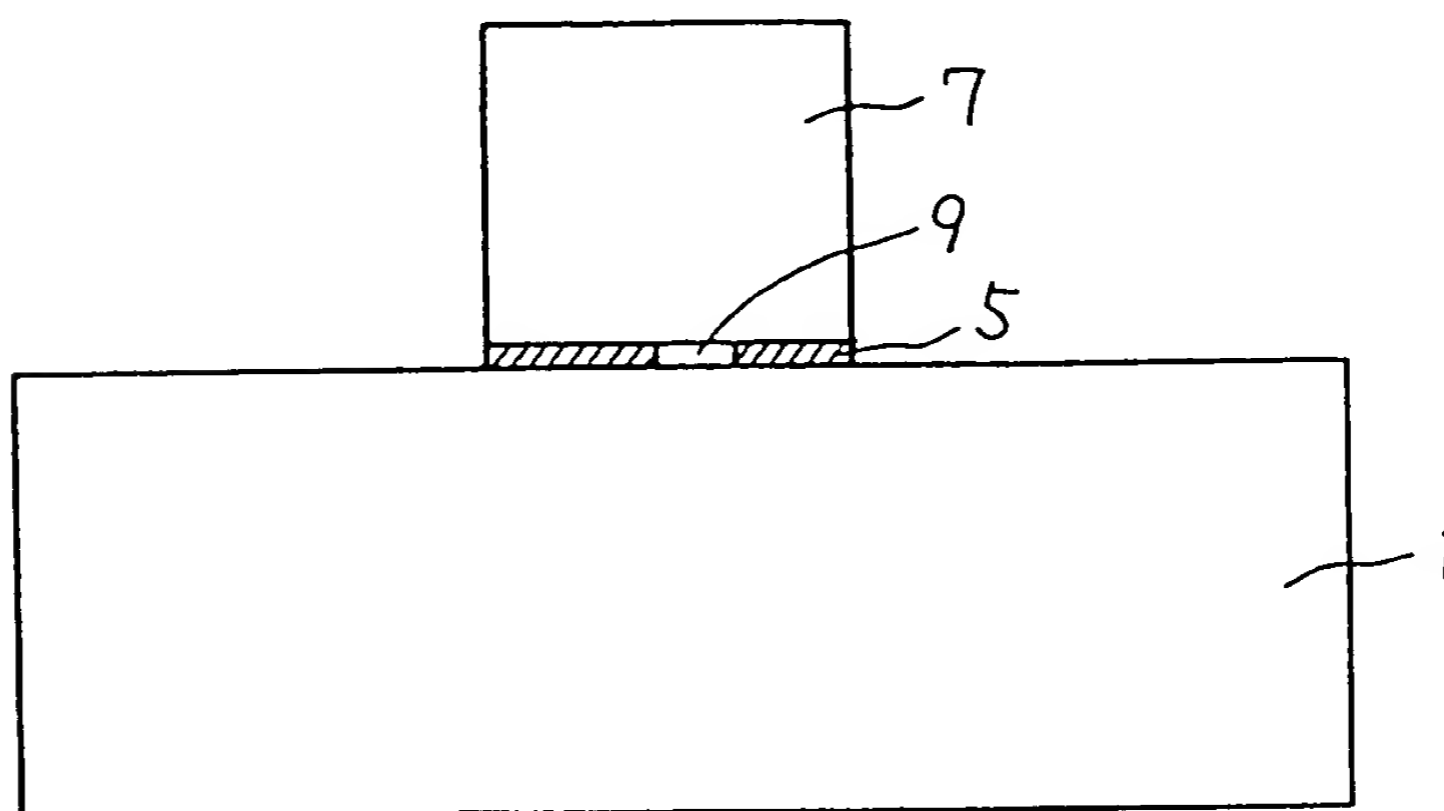


FIG. 18

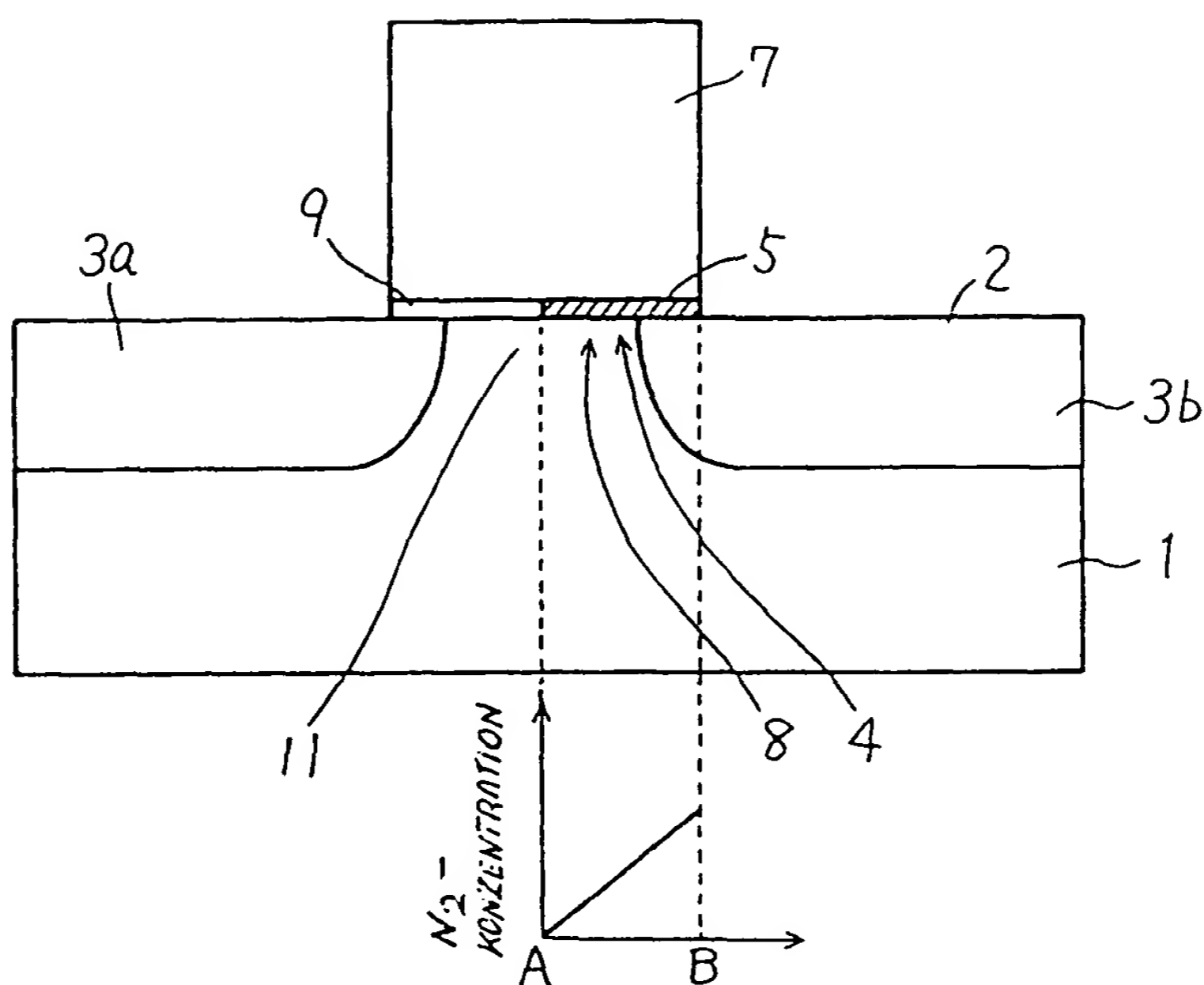


FIG. 19

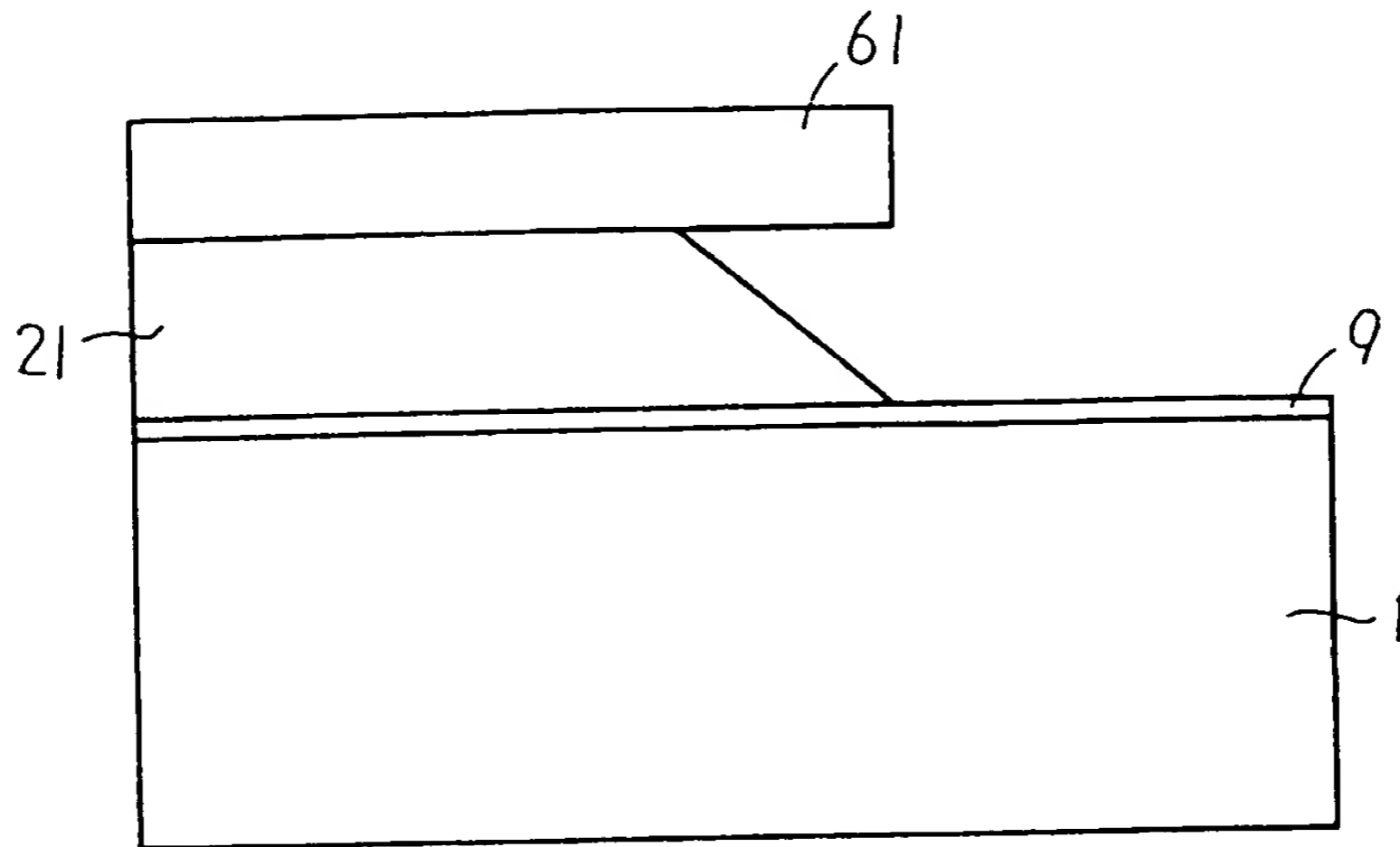


FIG. 20

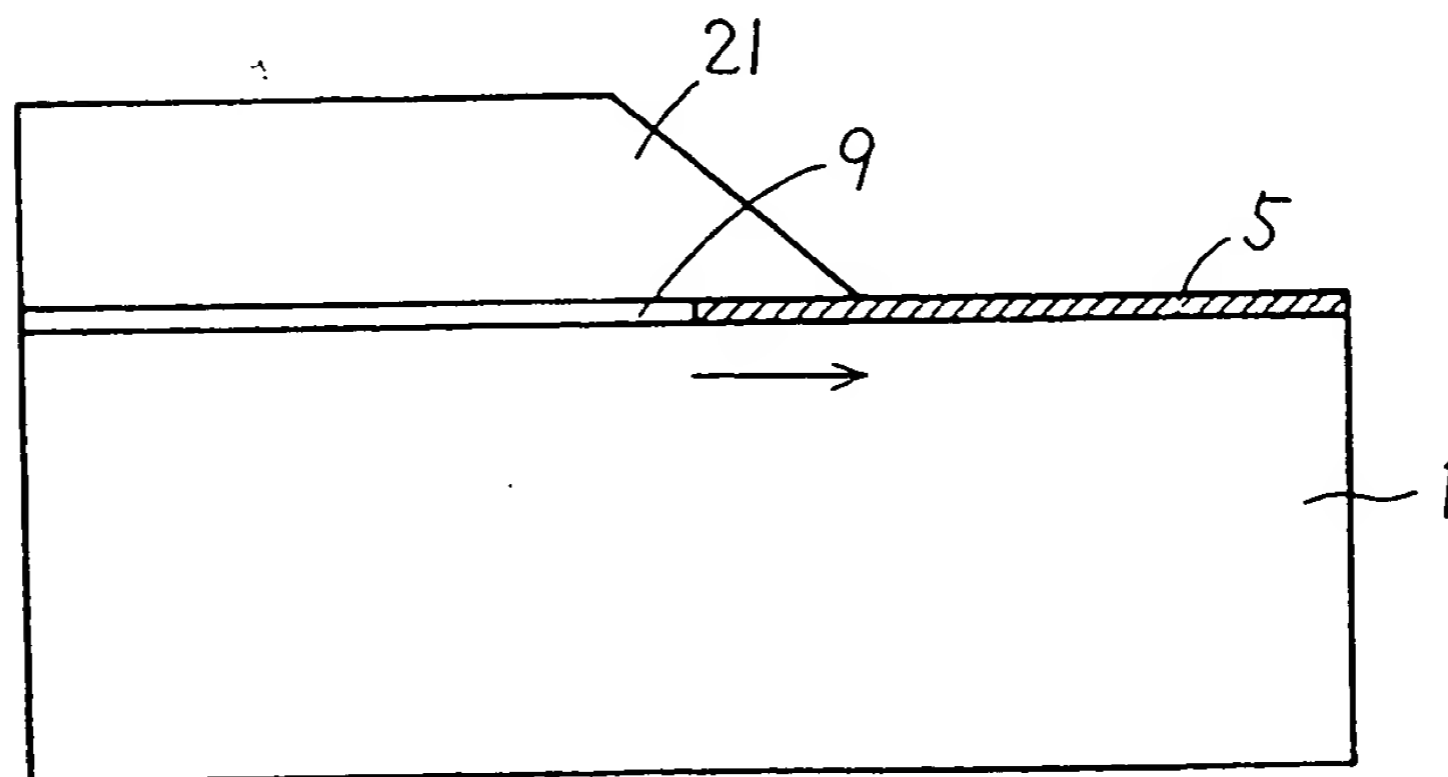


FIG. 21

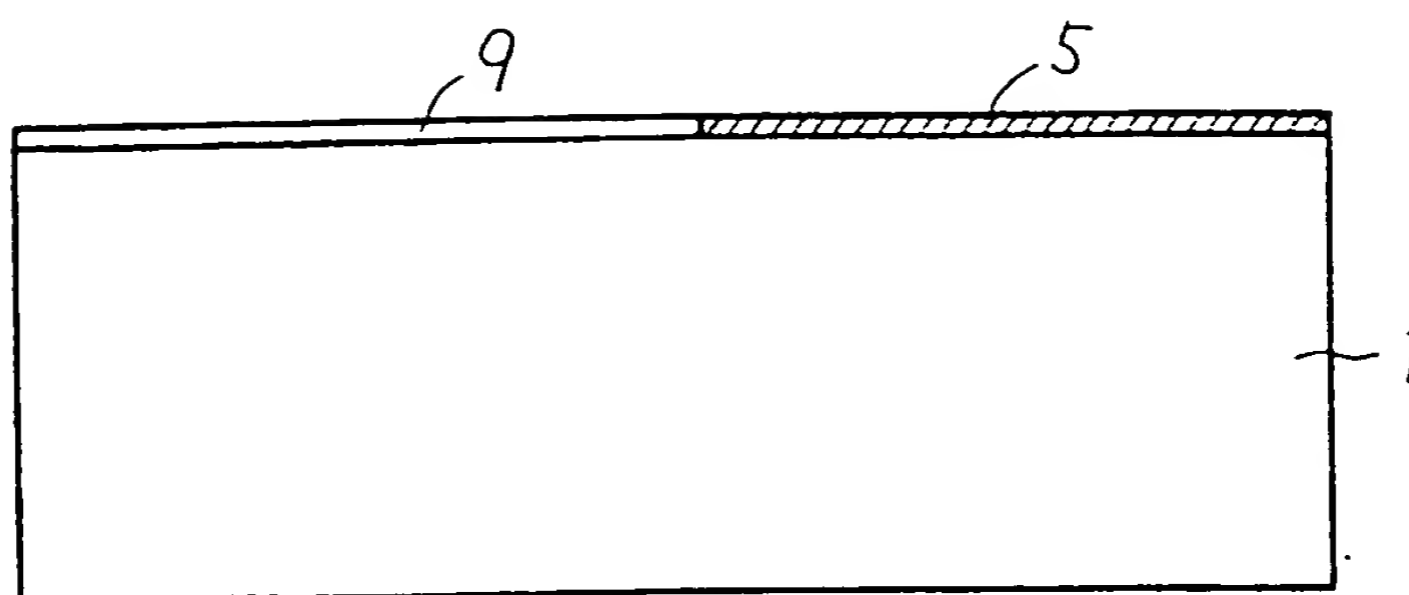


FIG. 22

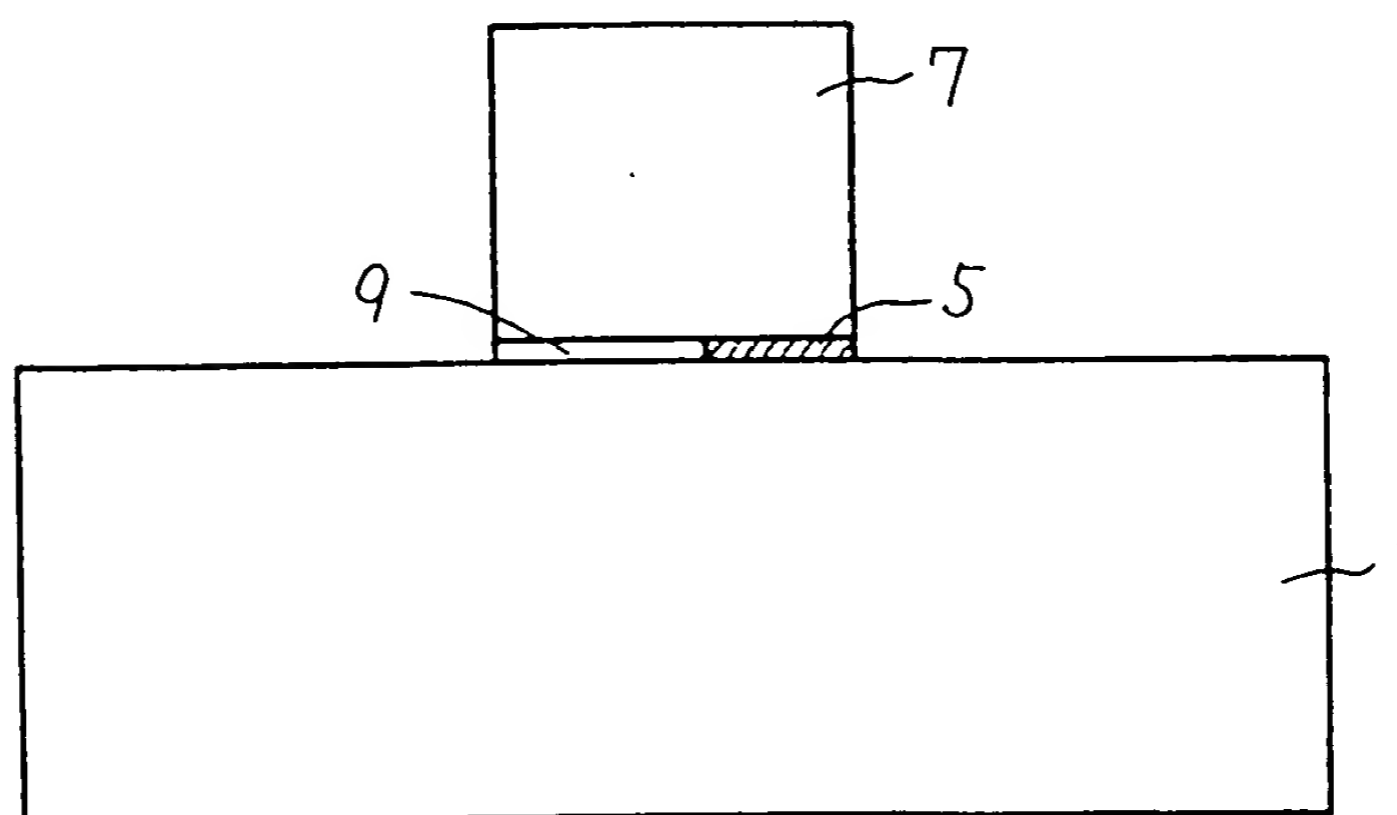


FIG. 23

STAND DER TECHNIK

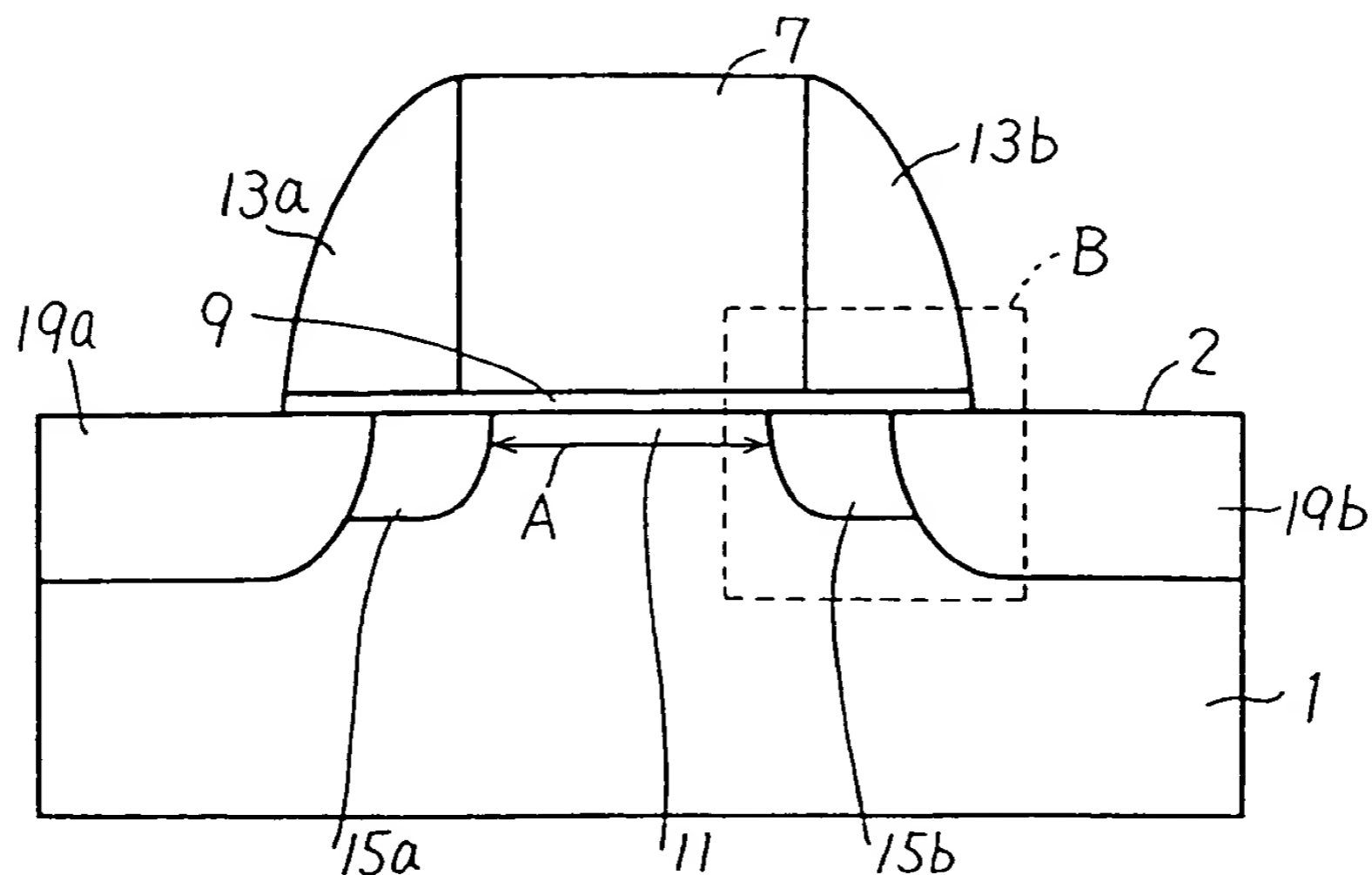


FIG. 24

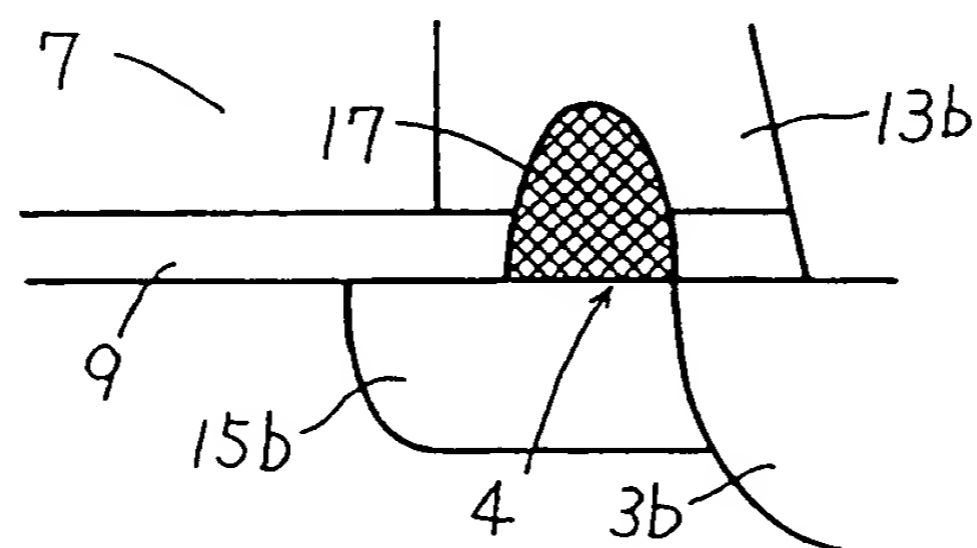


FIG. 25

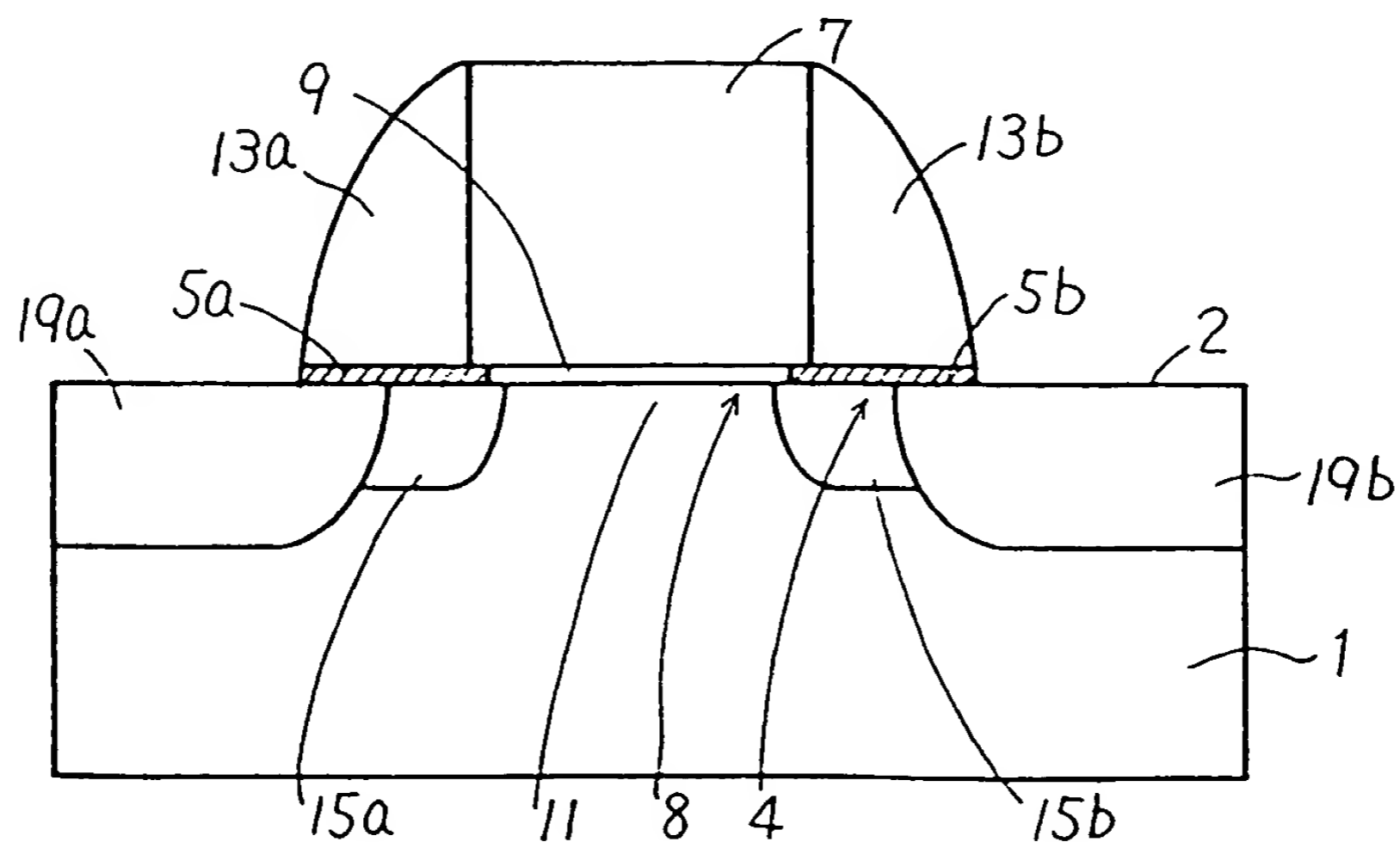


FIG. 26

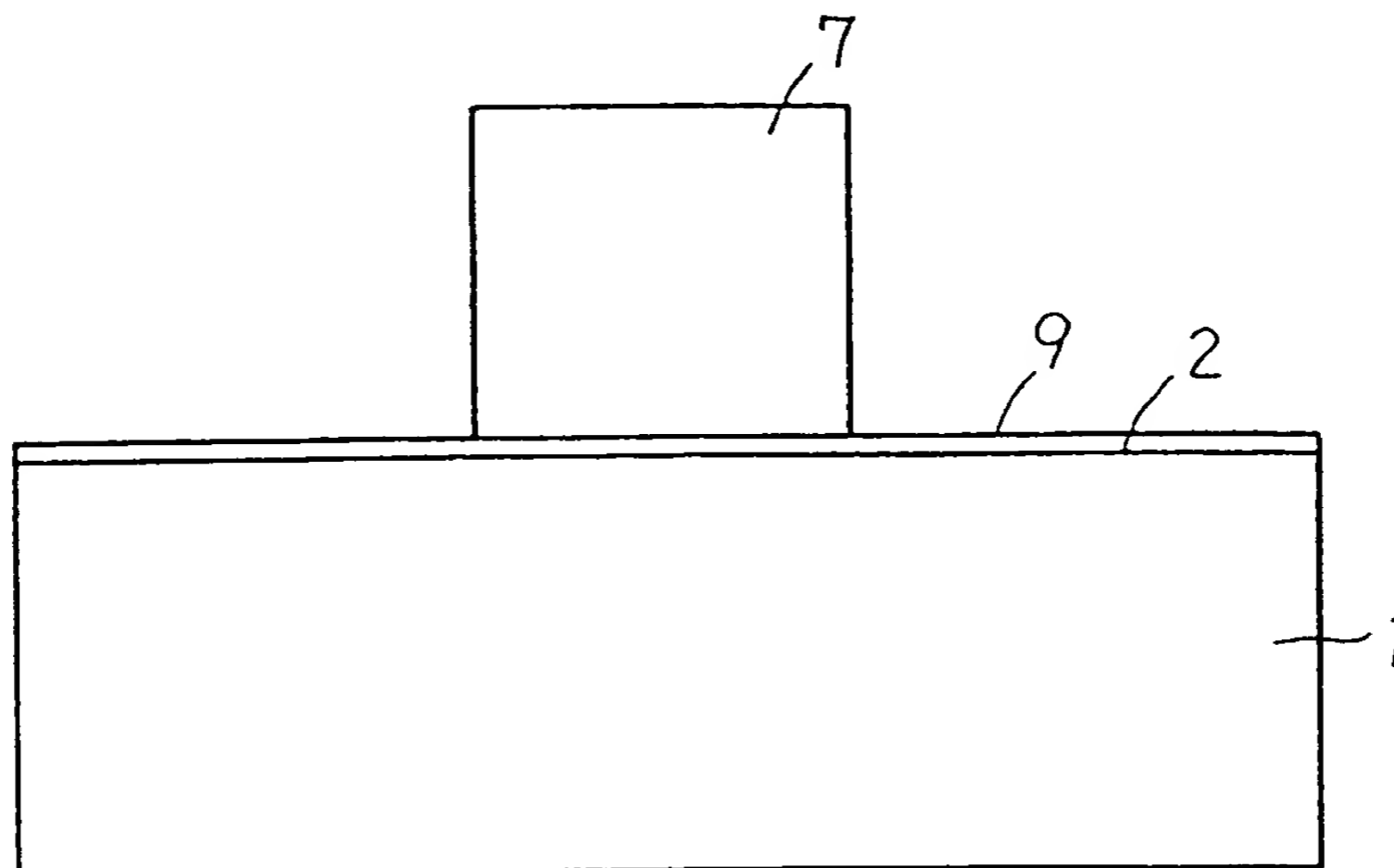


FIG. 27

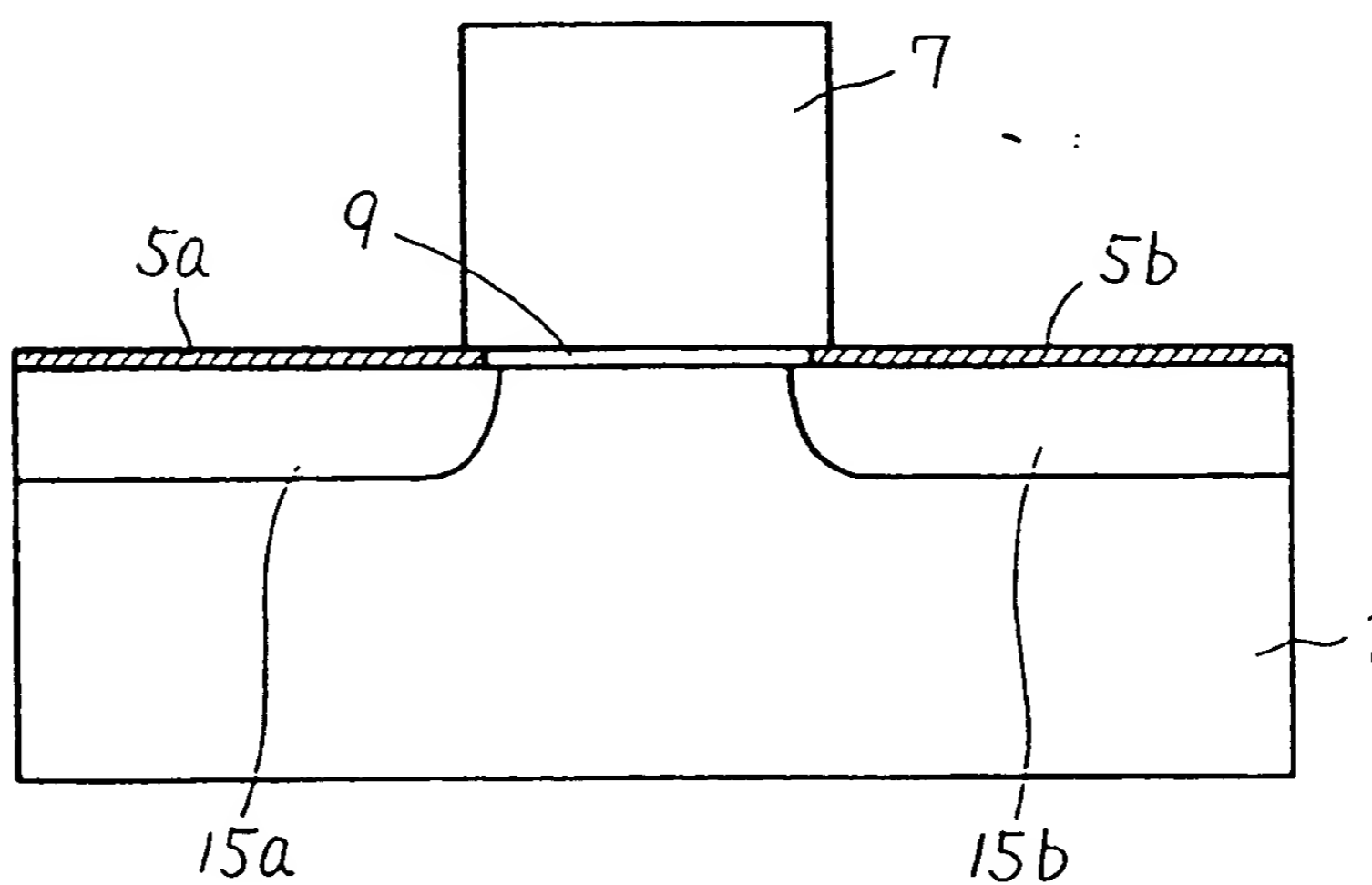


FIG. 28

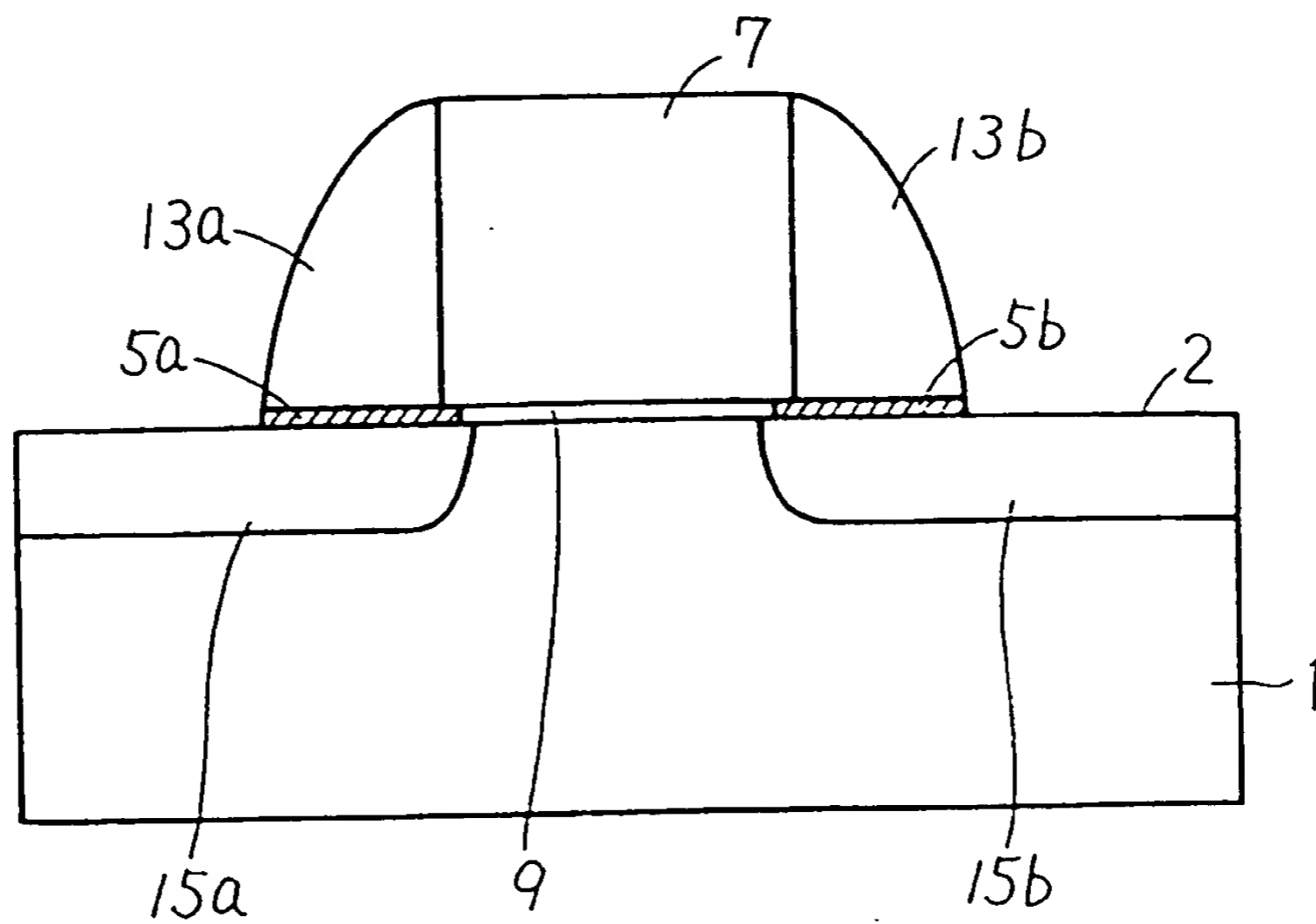


FIG. 29

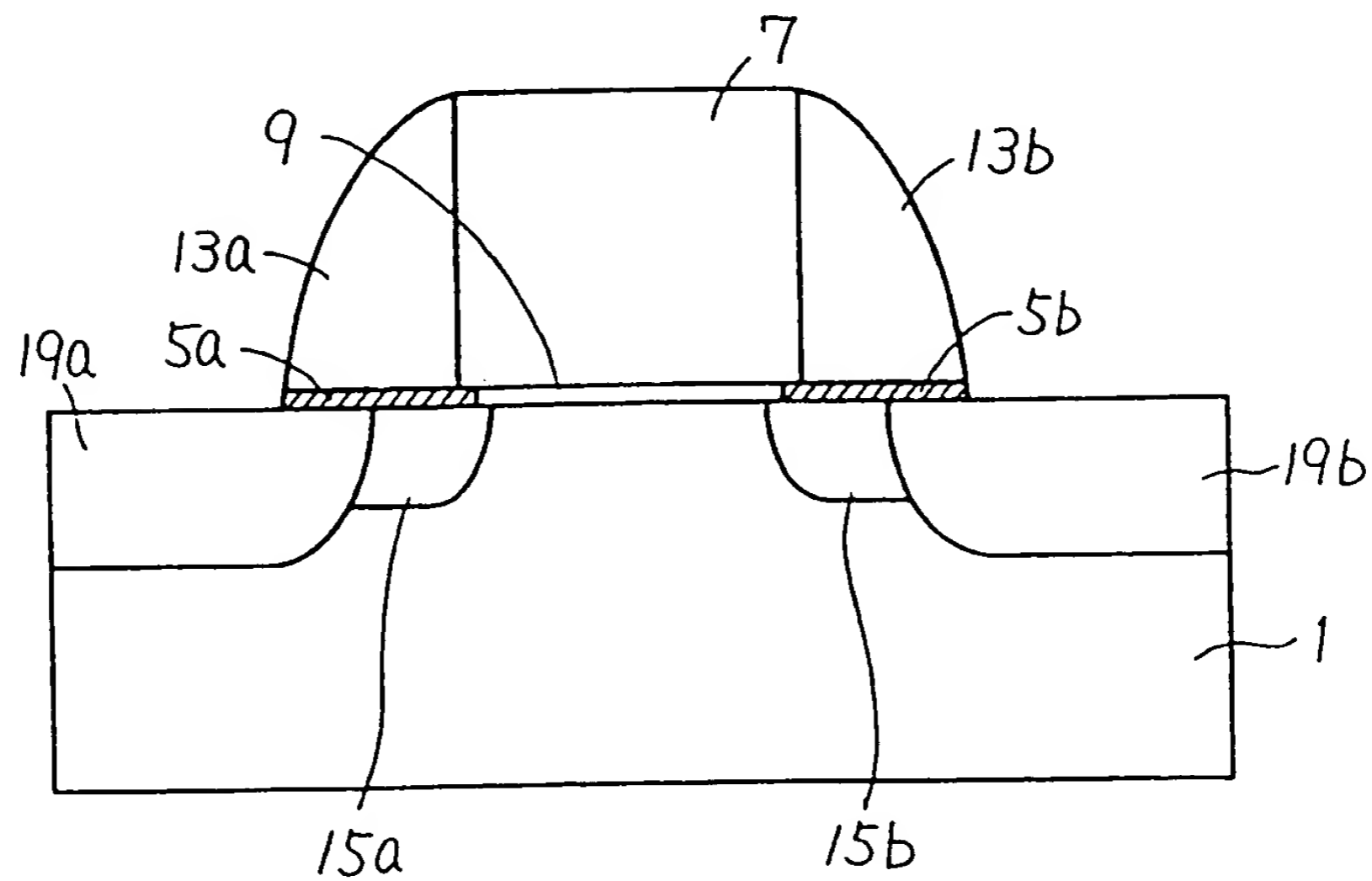


FIG. 30

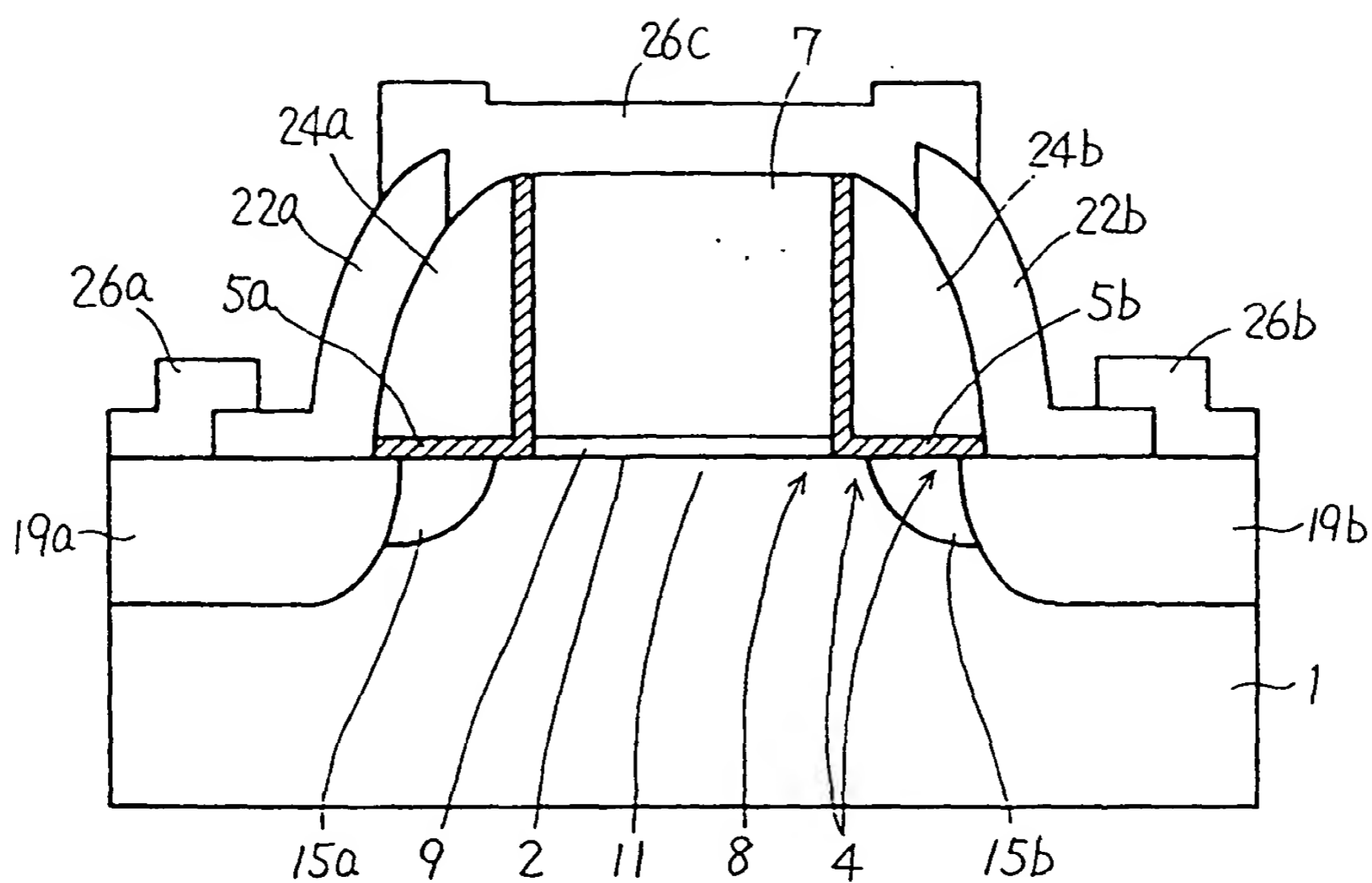


FIG. 31

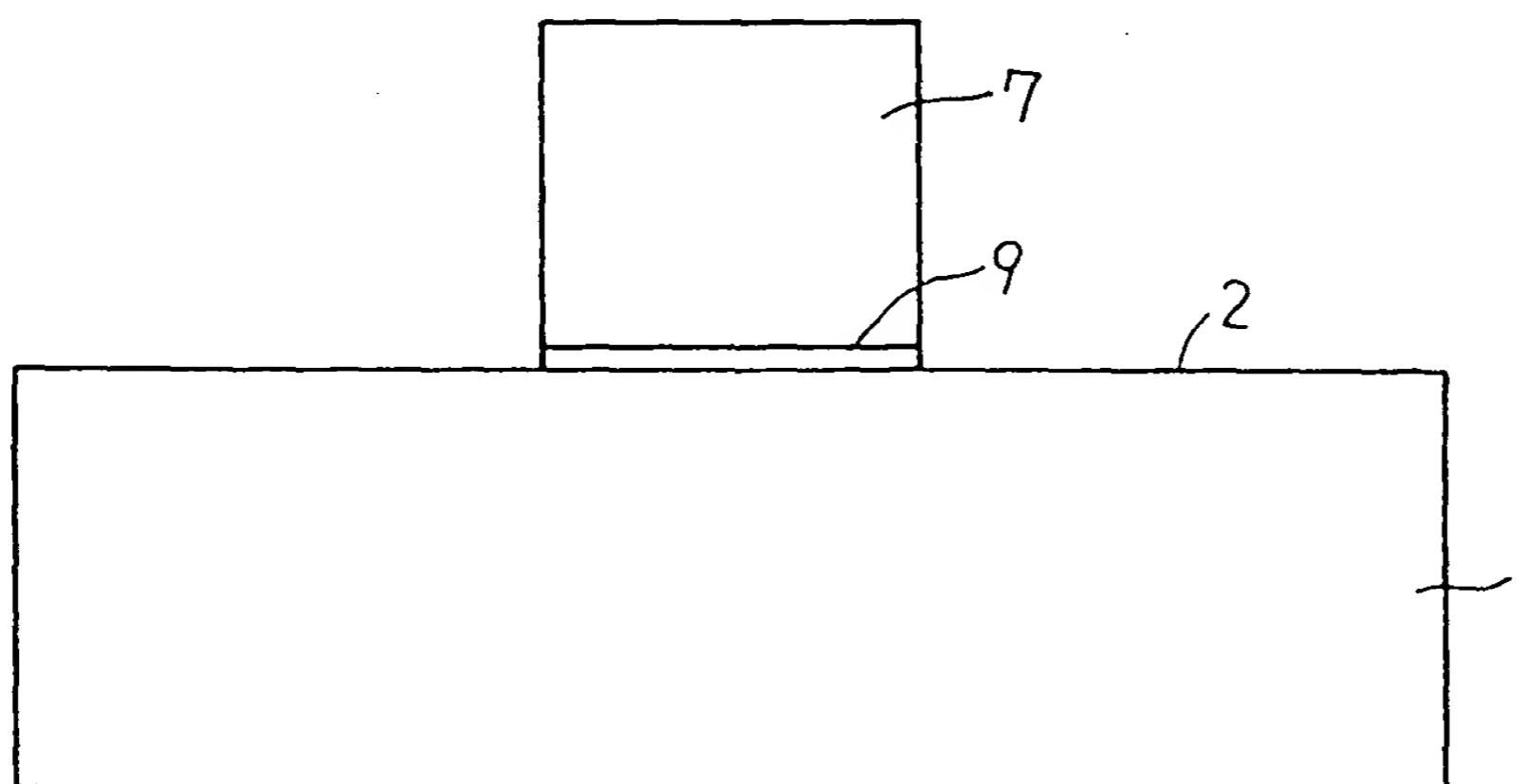


FIG. 32

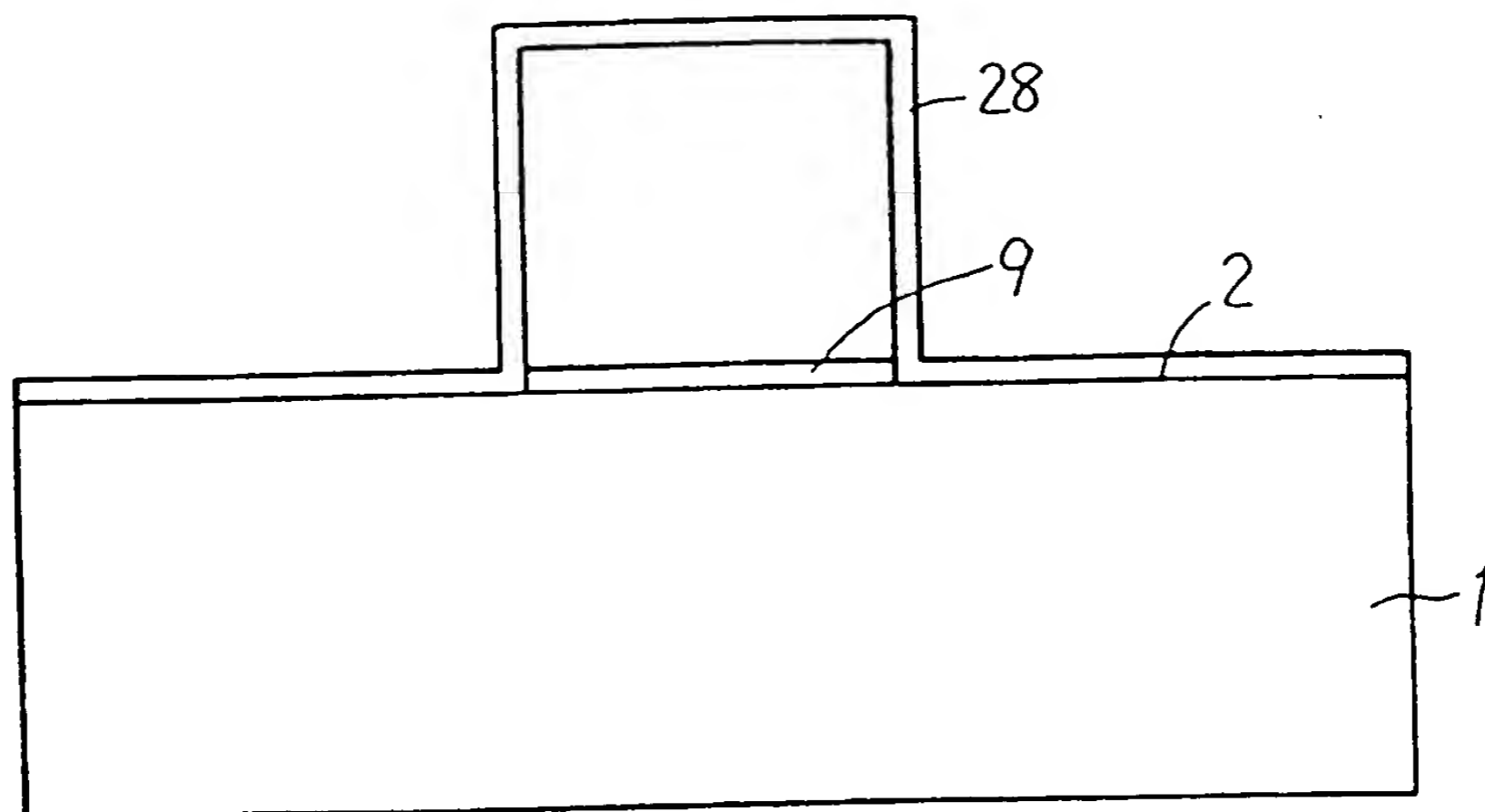


FIG. 33

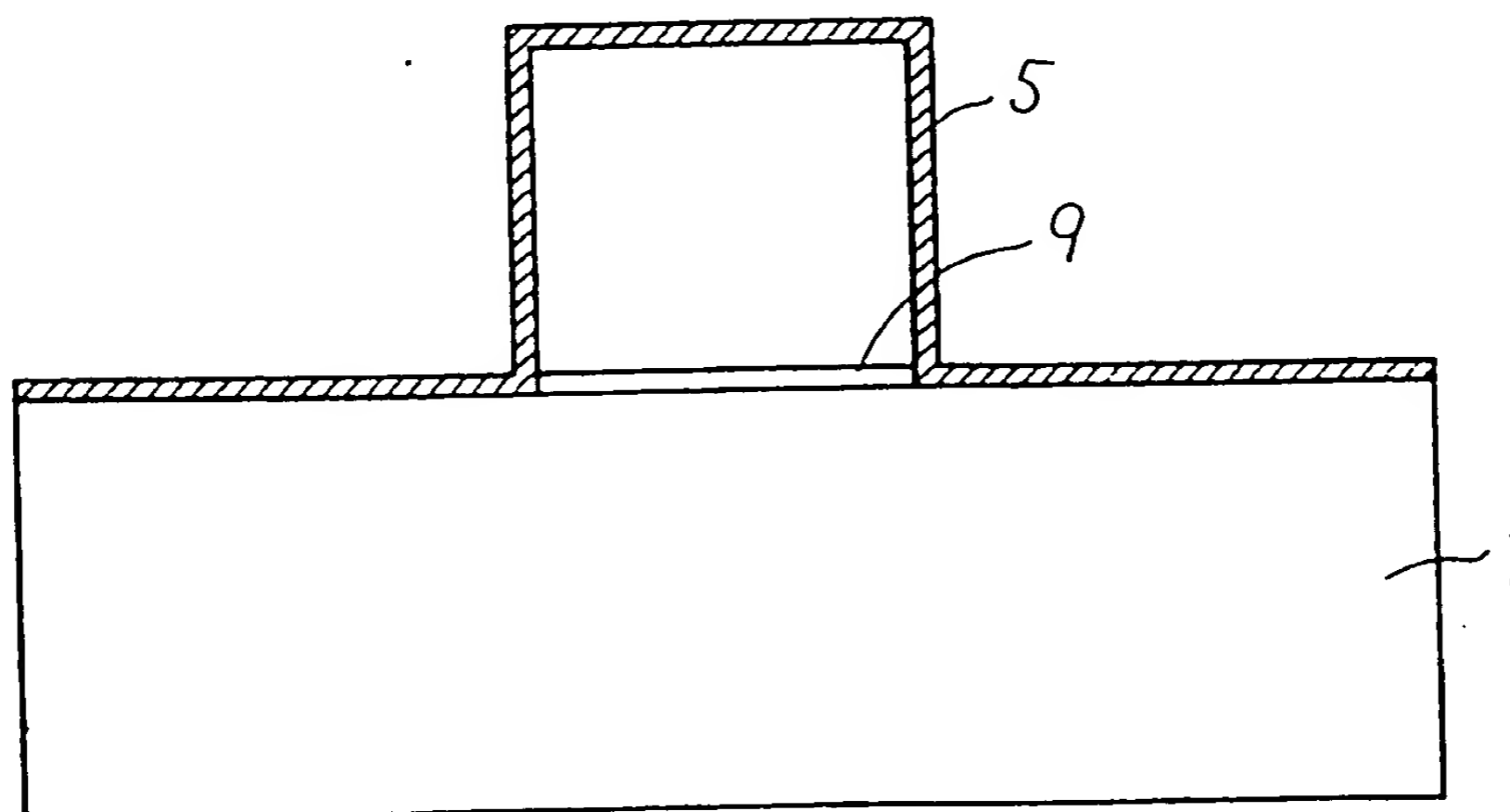


FIG. 34

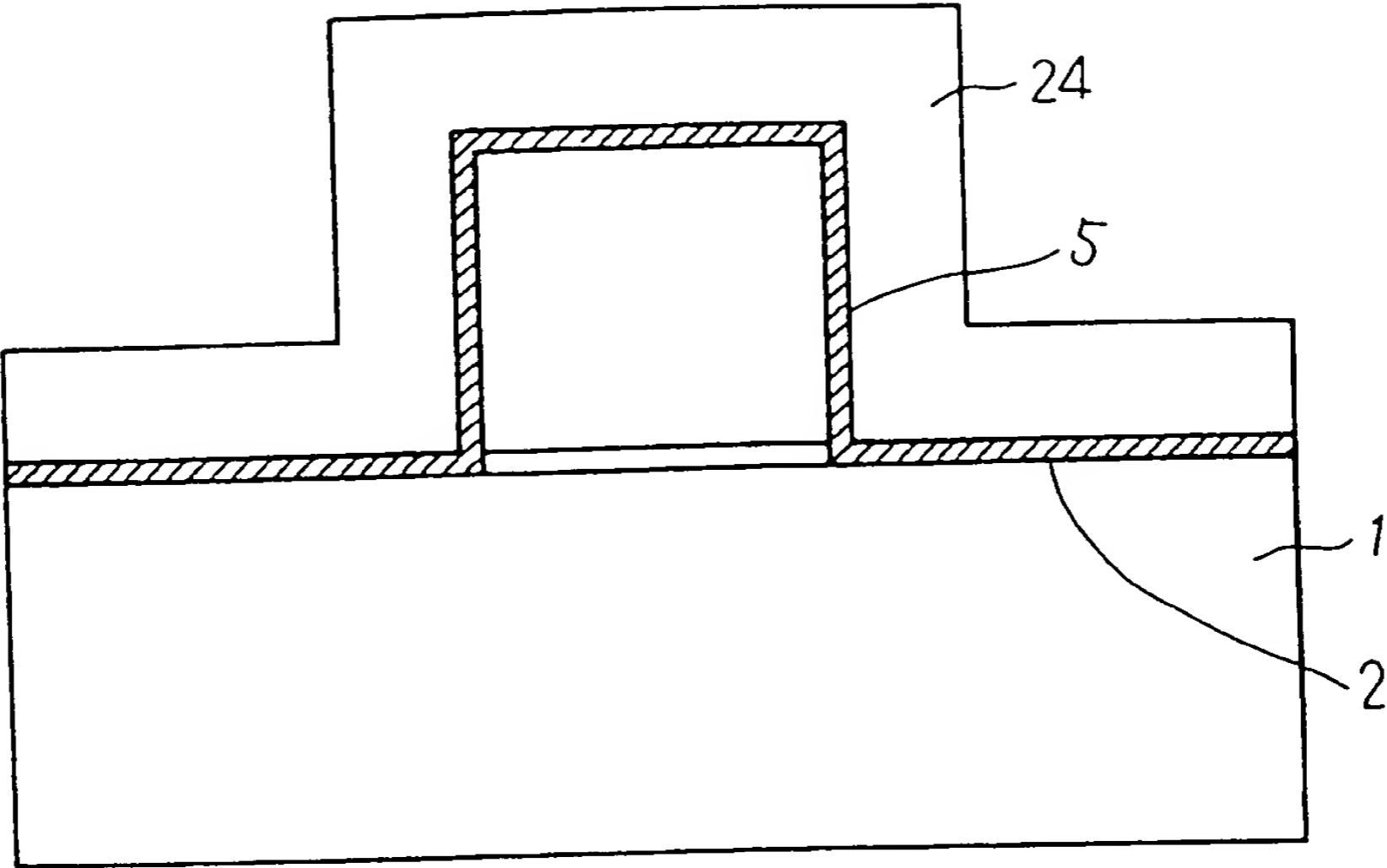


FIG. 35

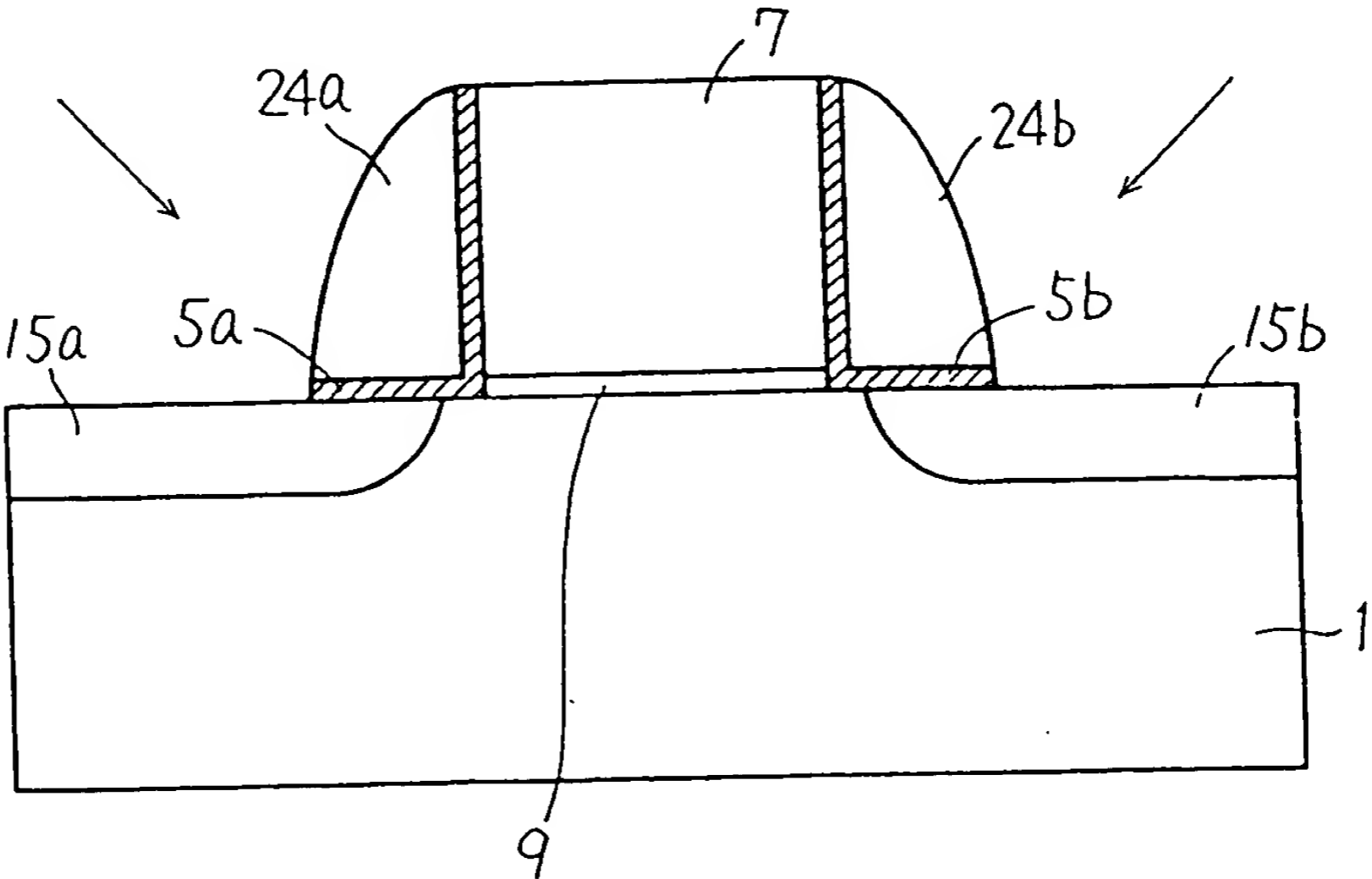


FIG. 36

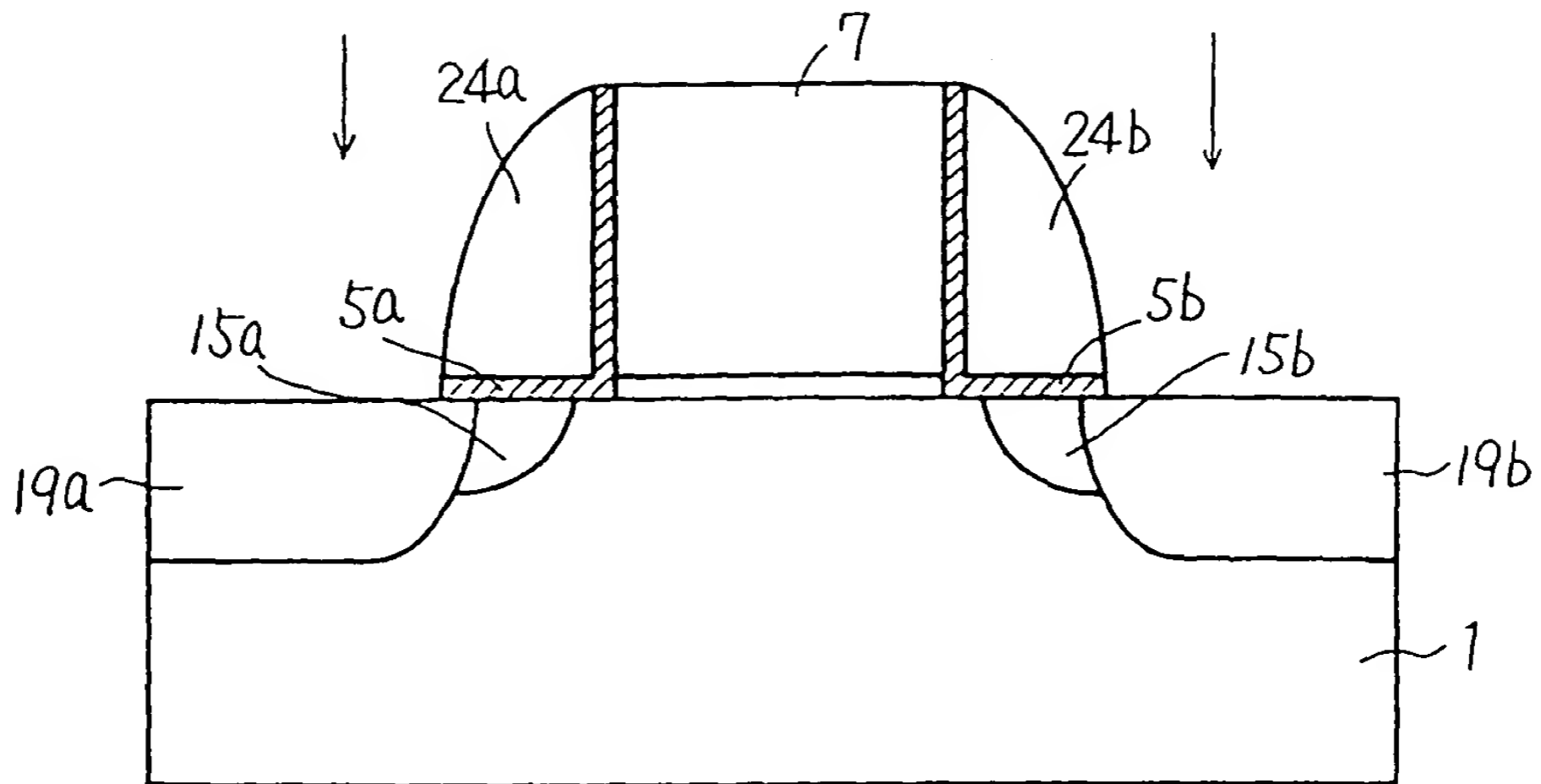


FIG. 37

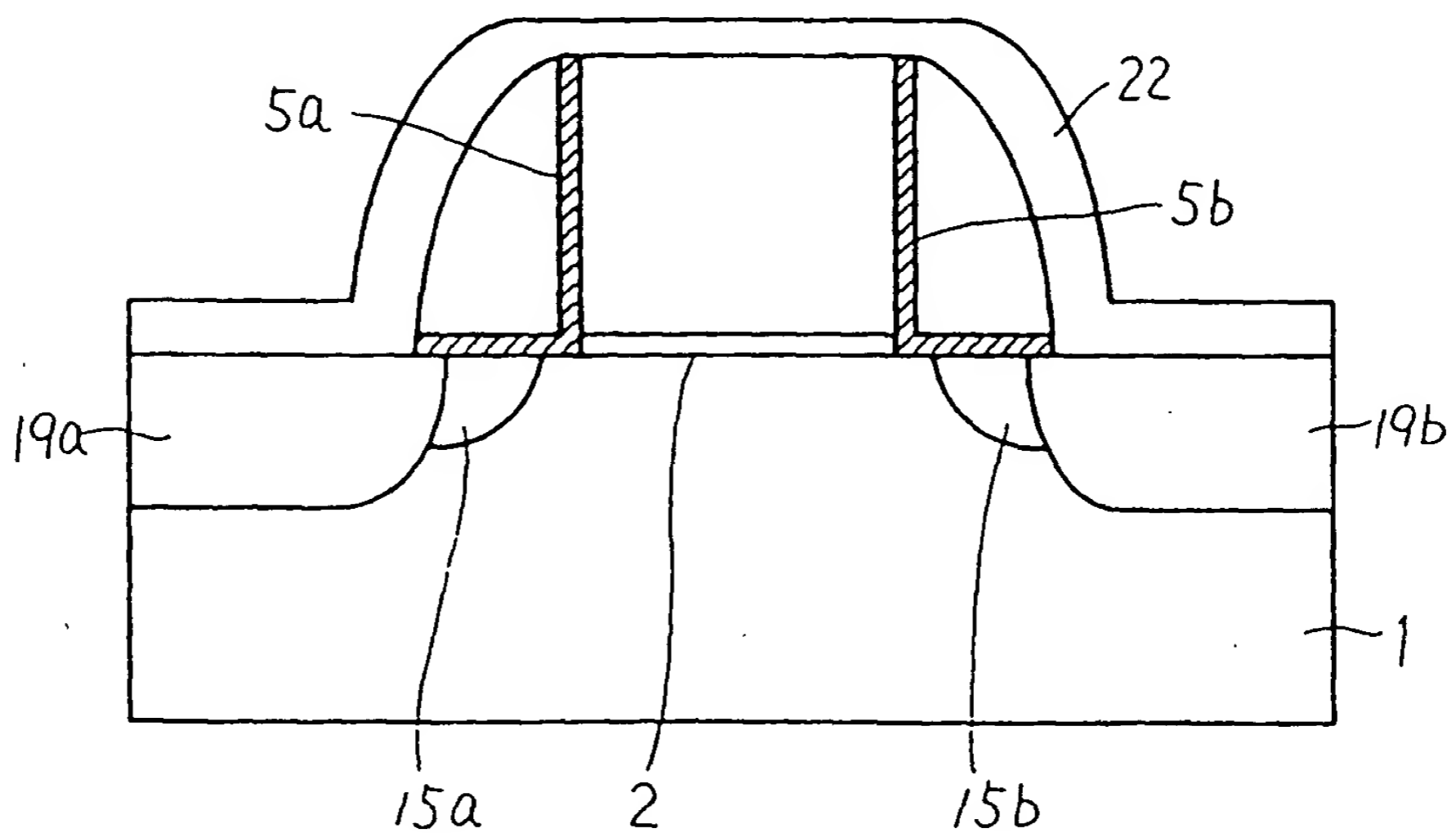


FIG. 38

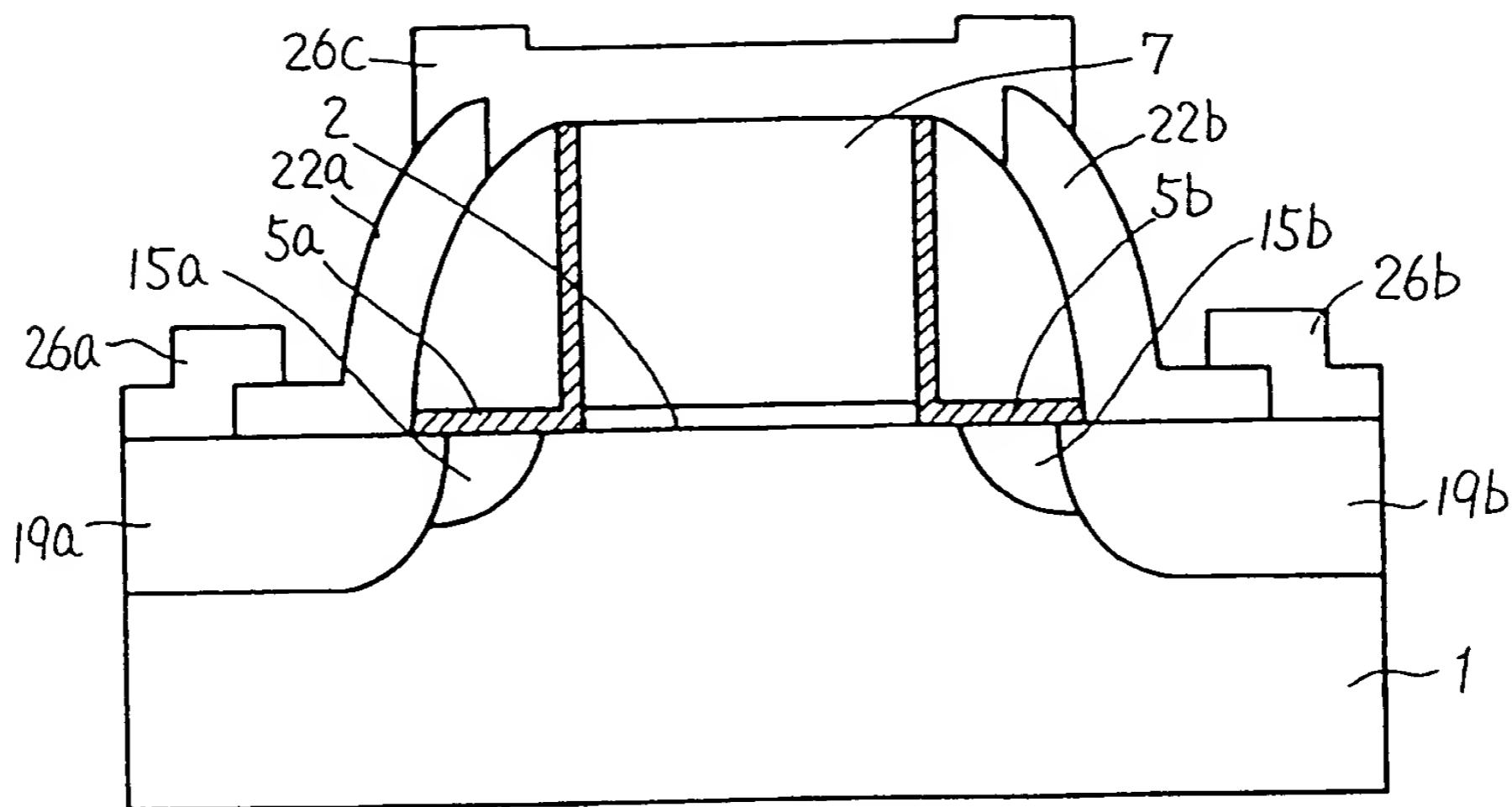


FIG. 39

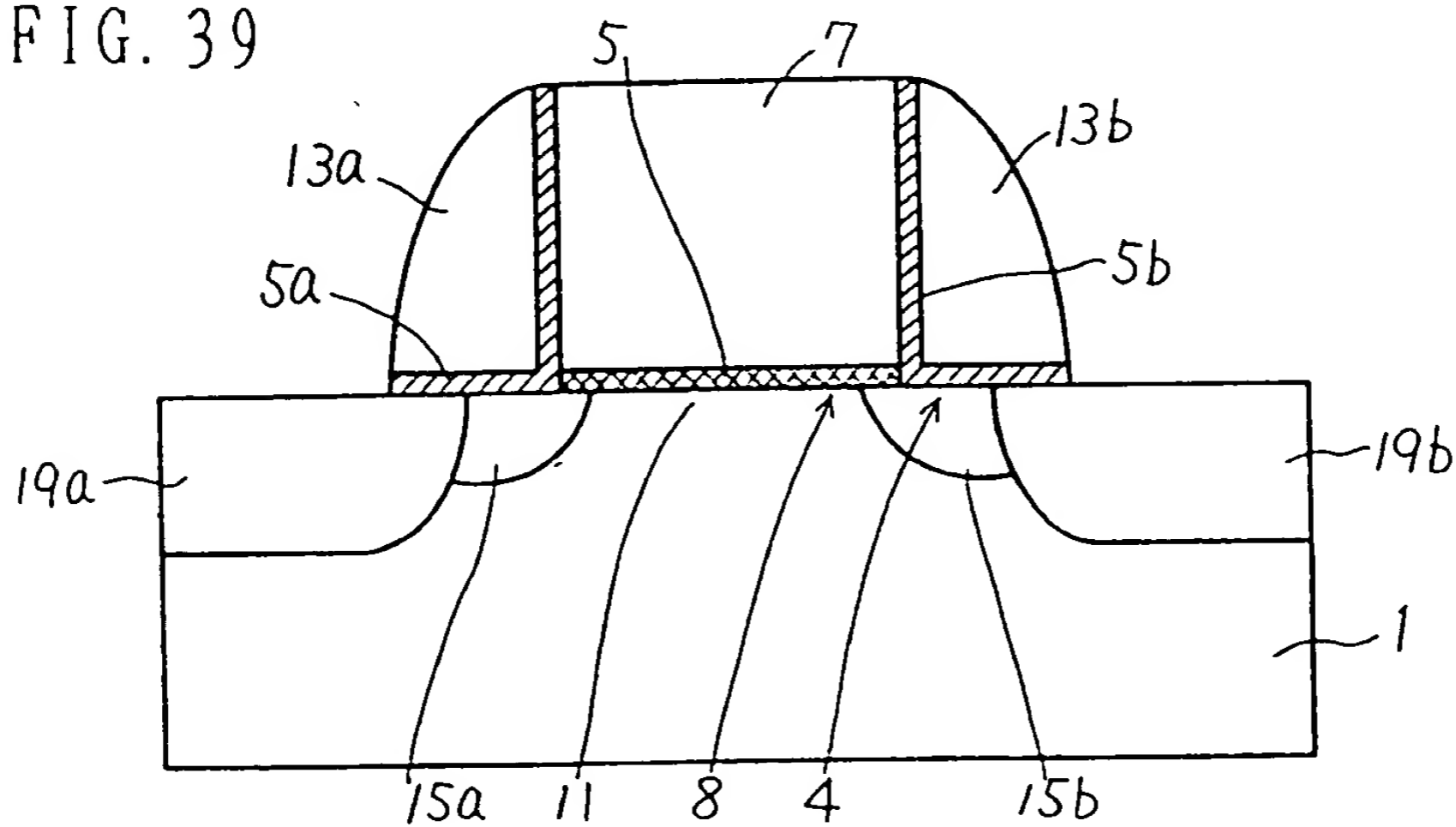


FIG. 40

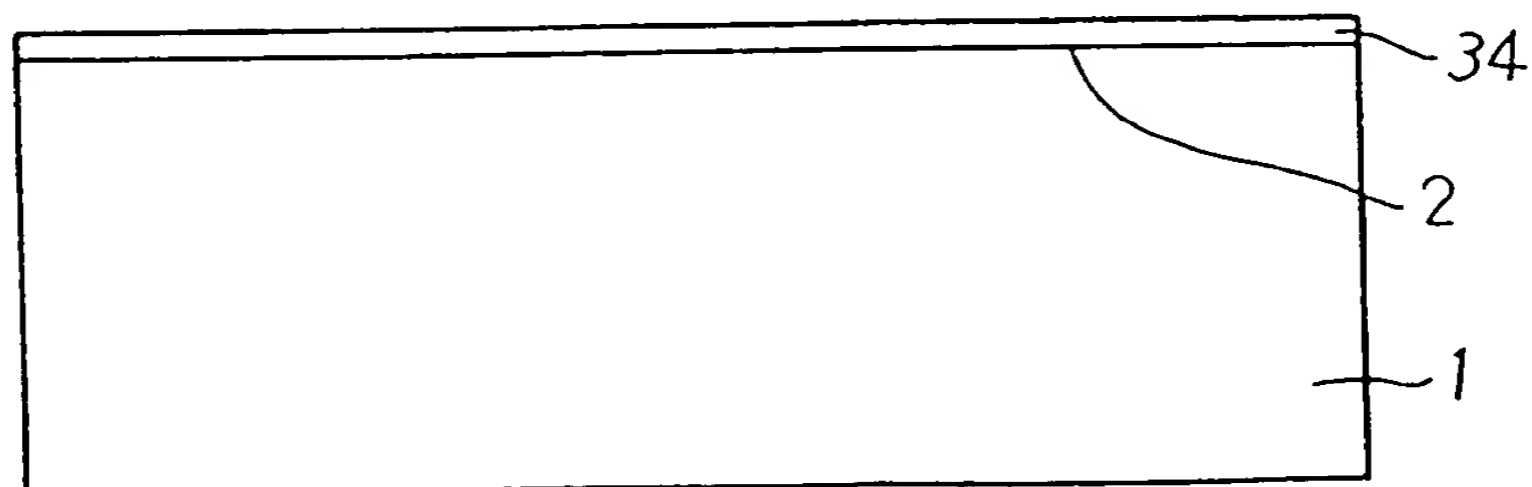


FIG. 41

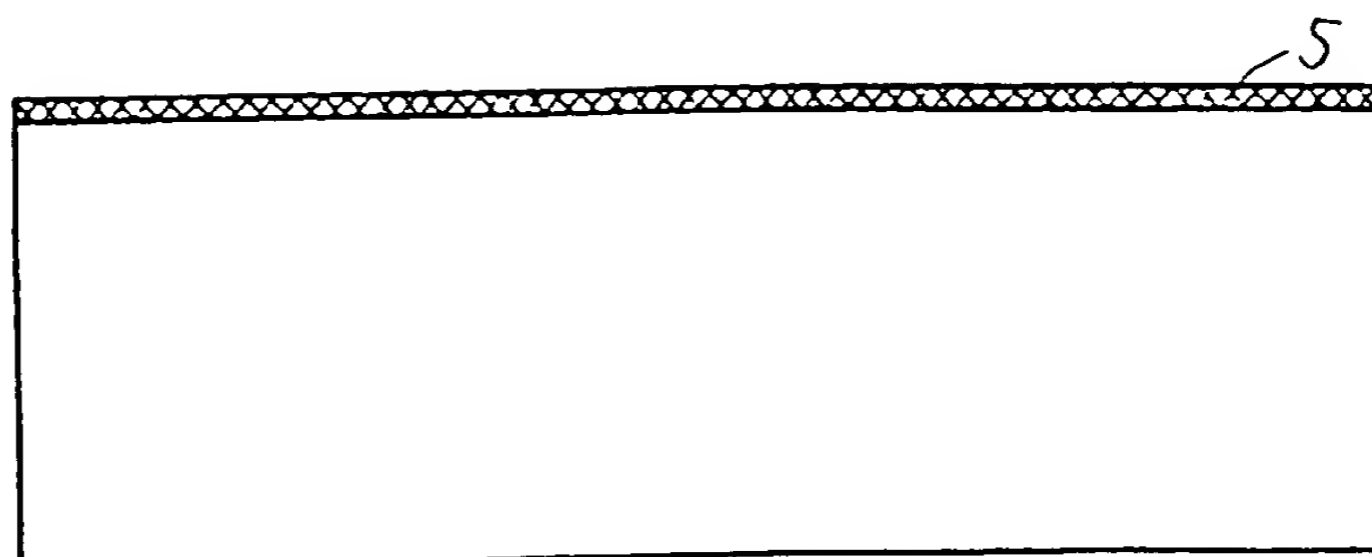


FIG. 42

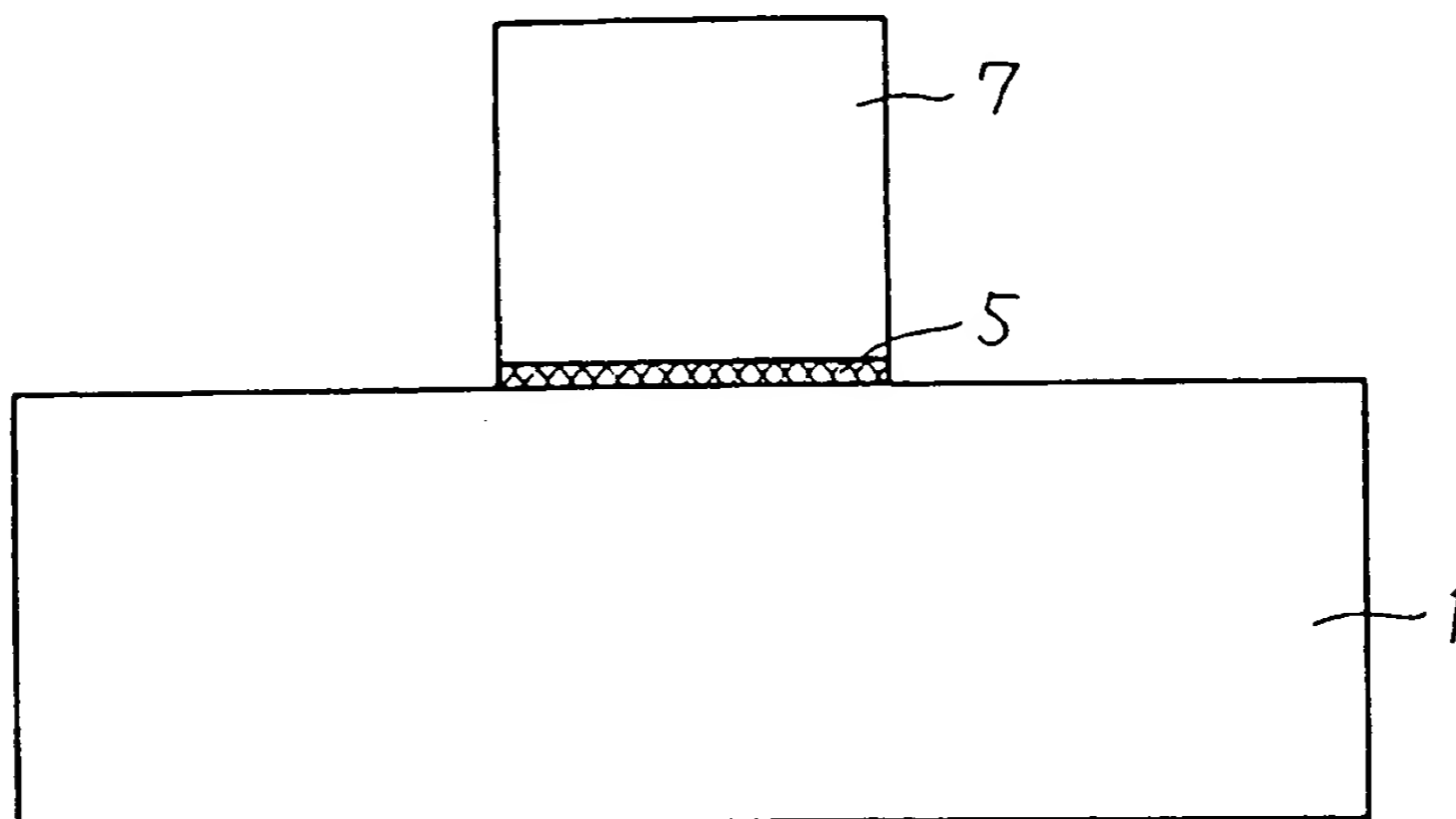


FIG. 43

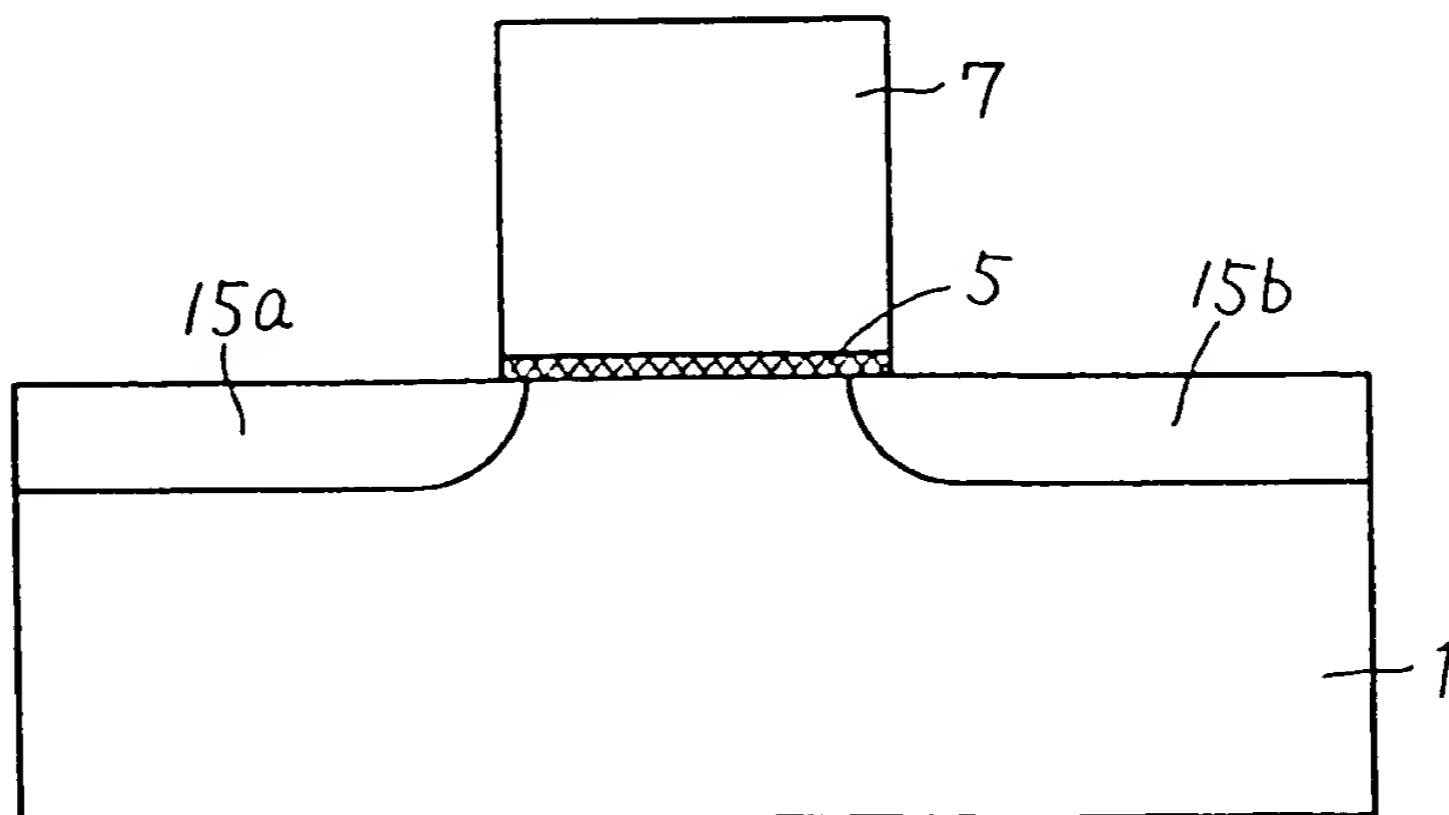


FIG. 44

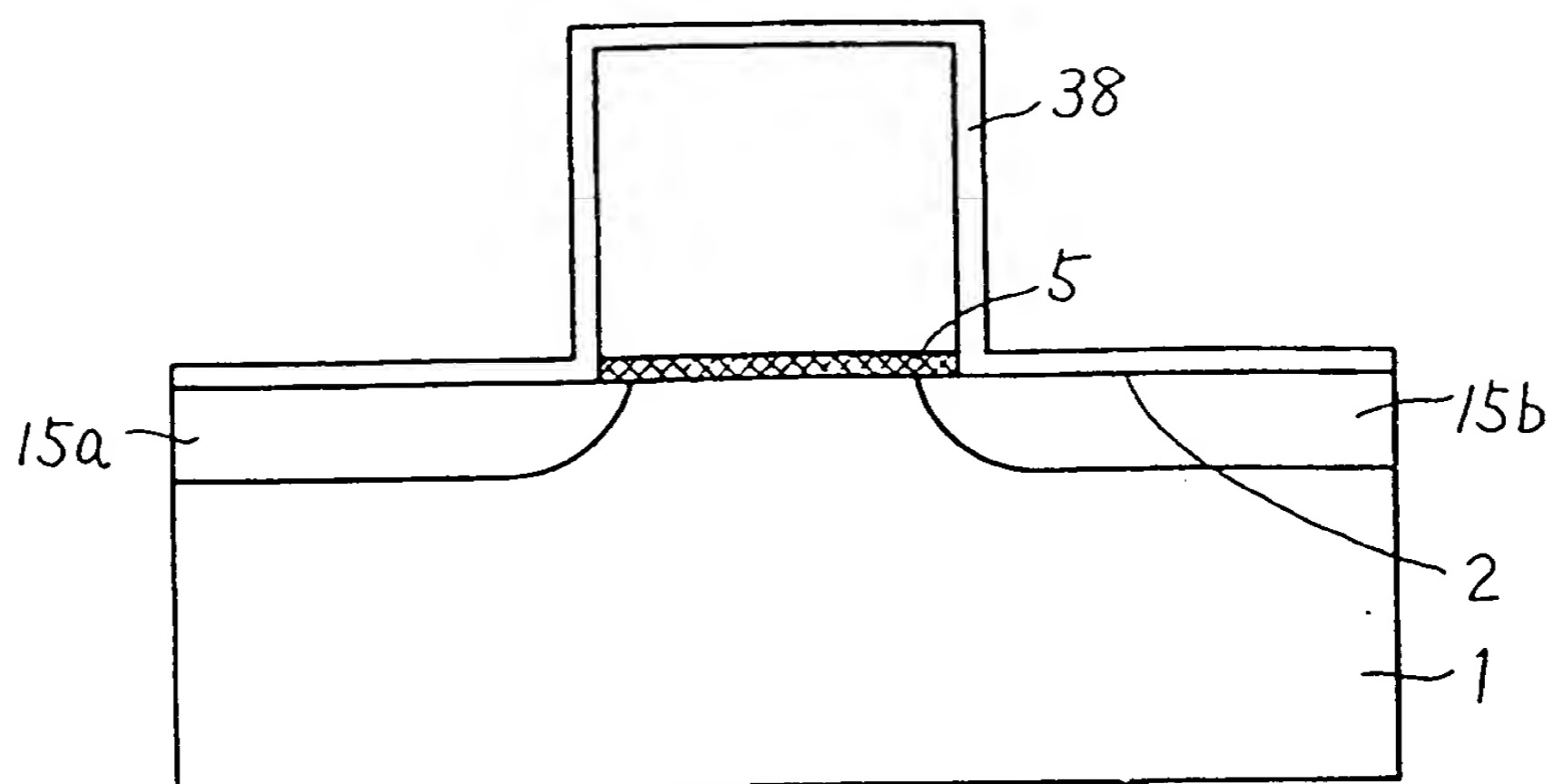


FIG. 45

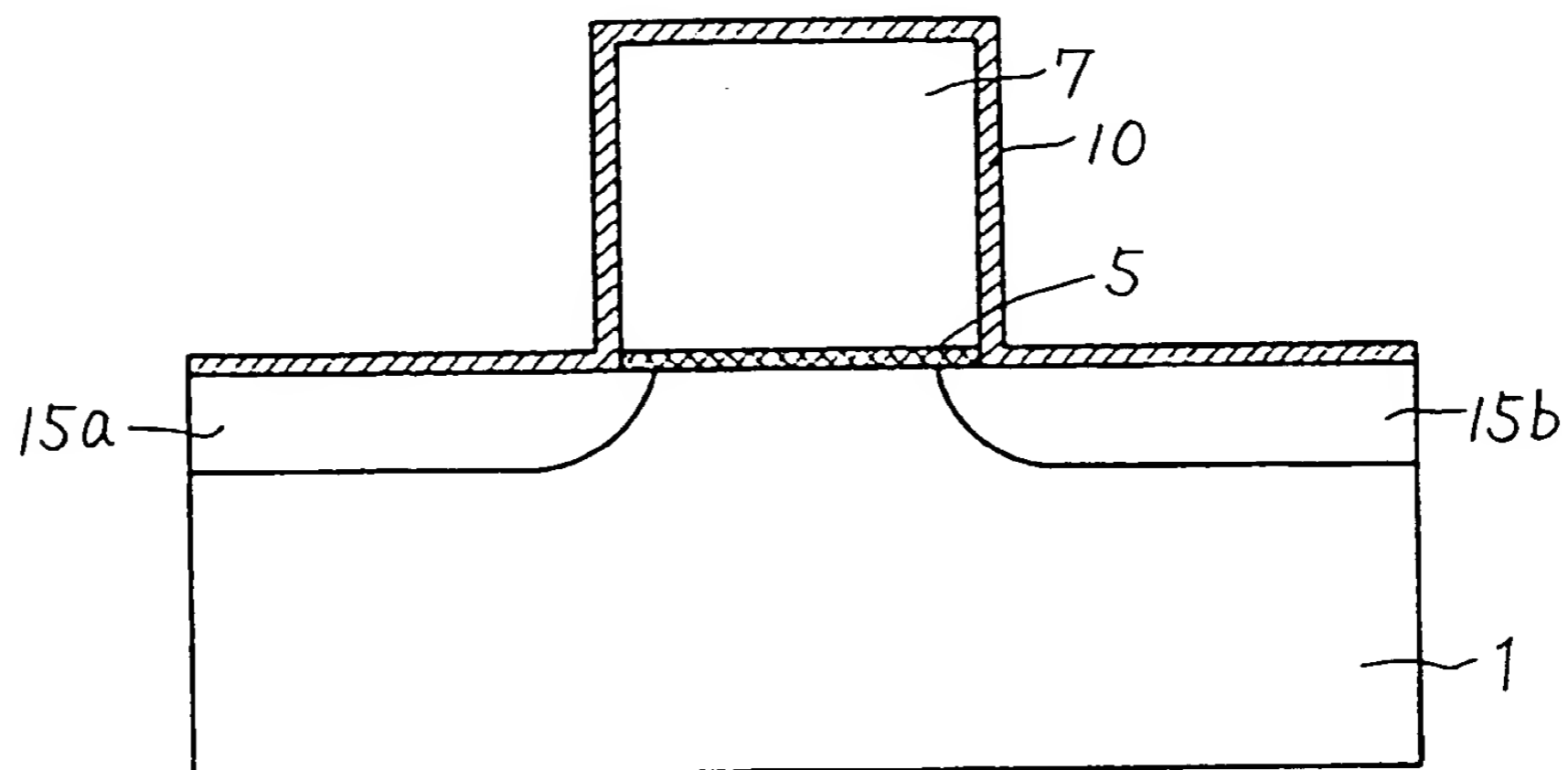


FIG. 46

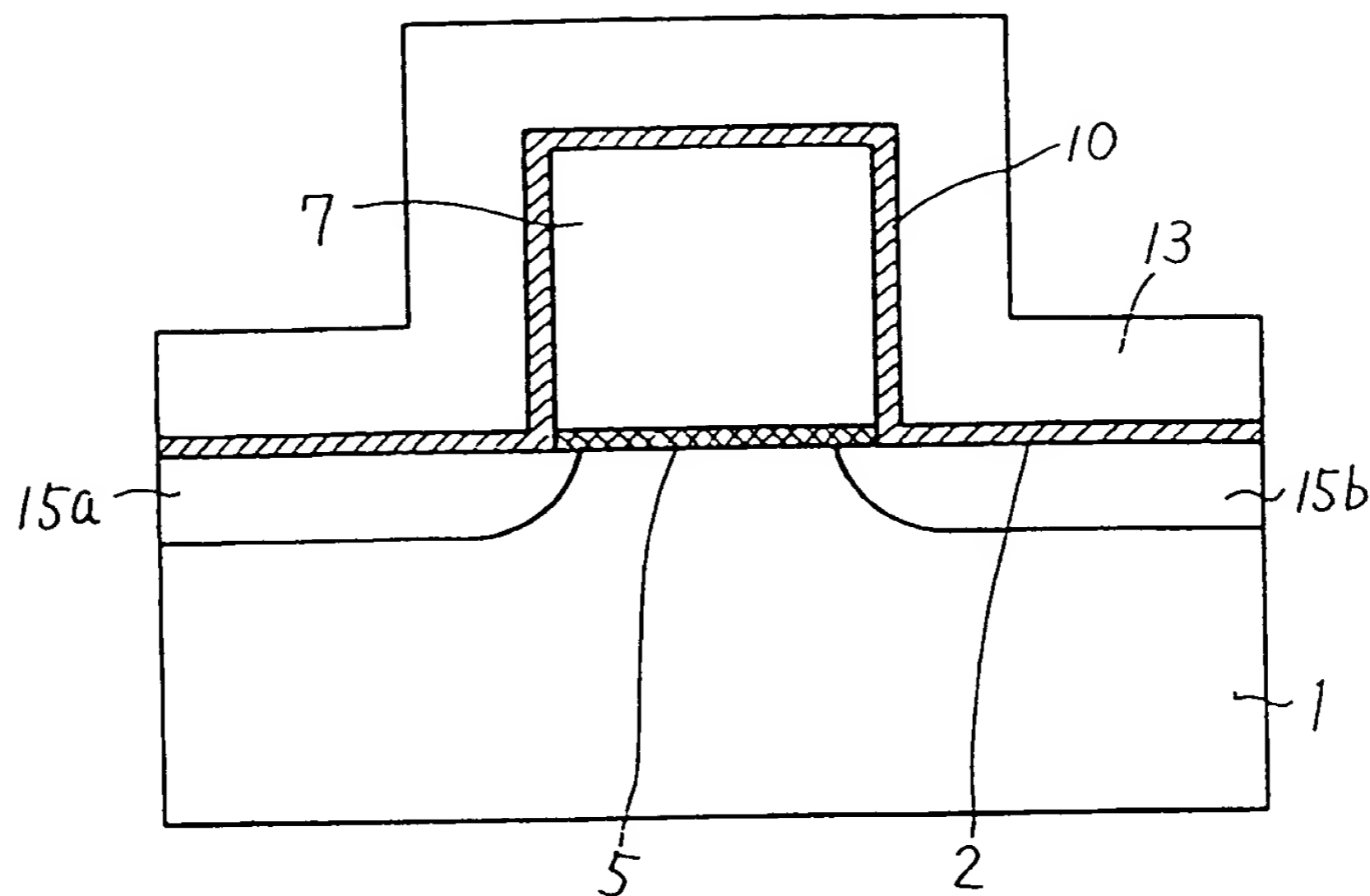


FIG. 47

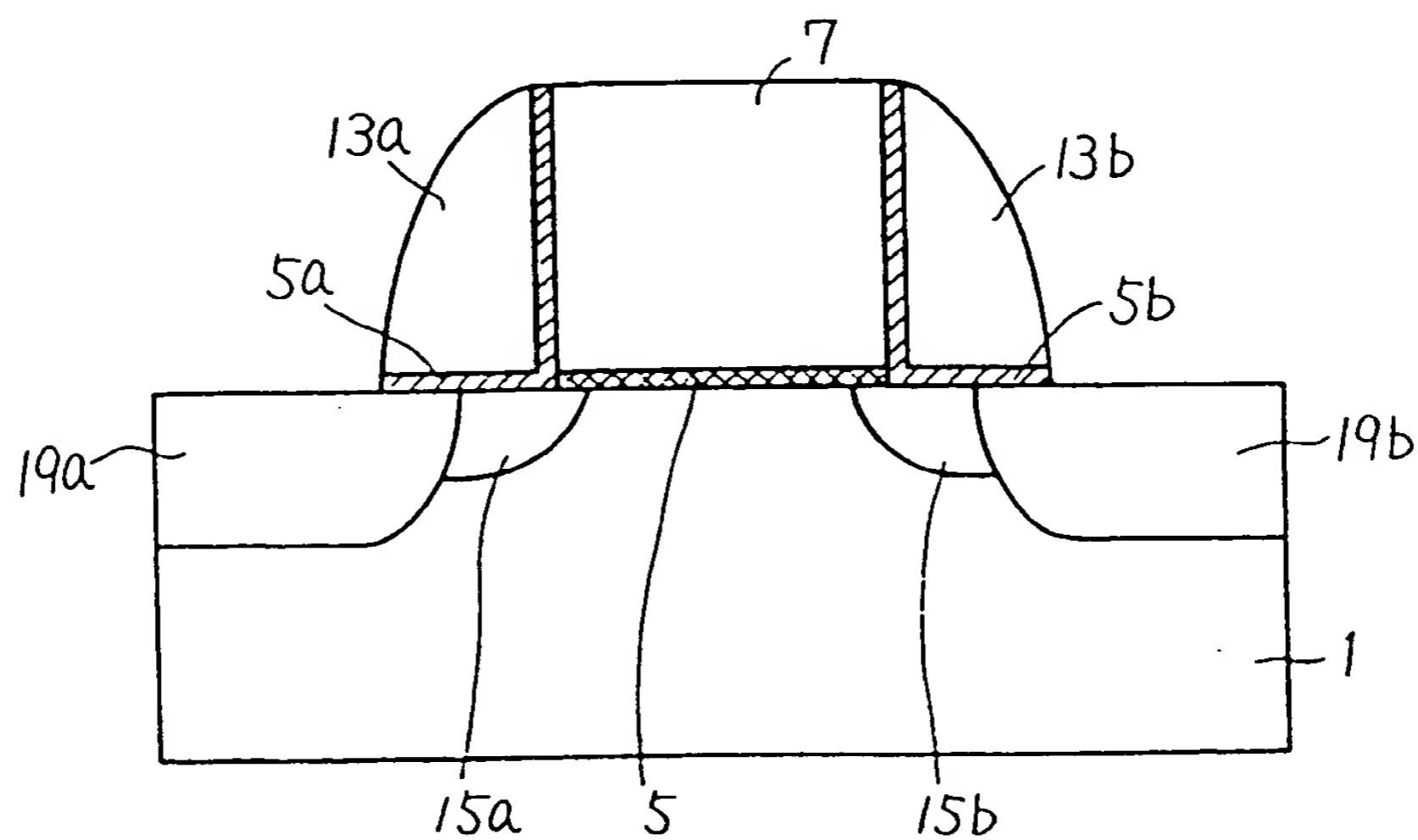


FIG. 48

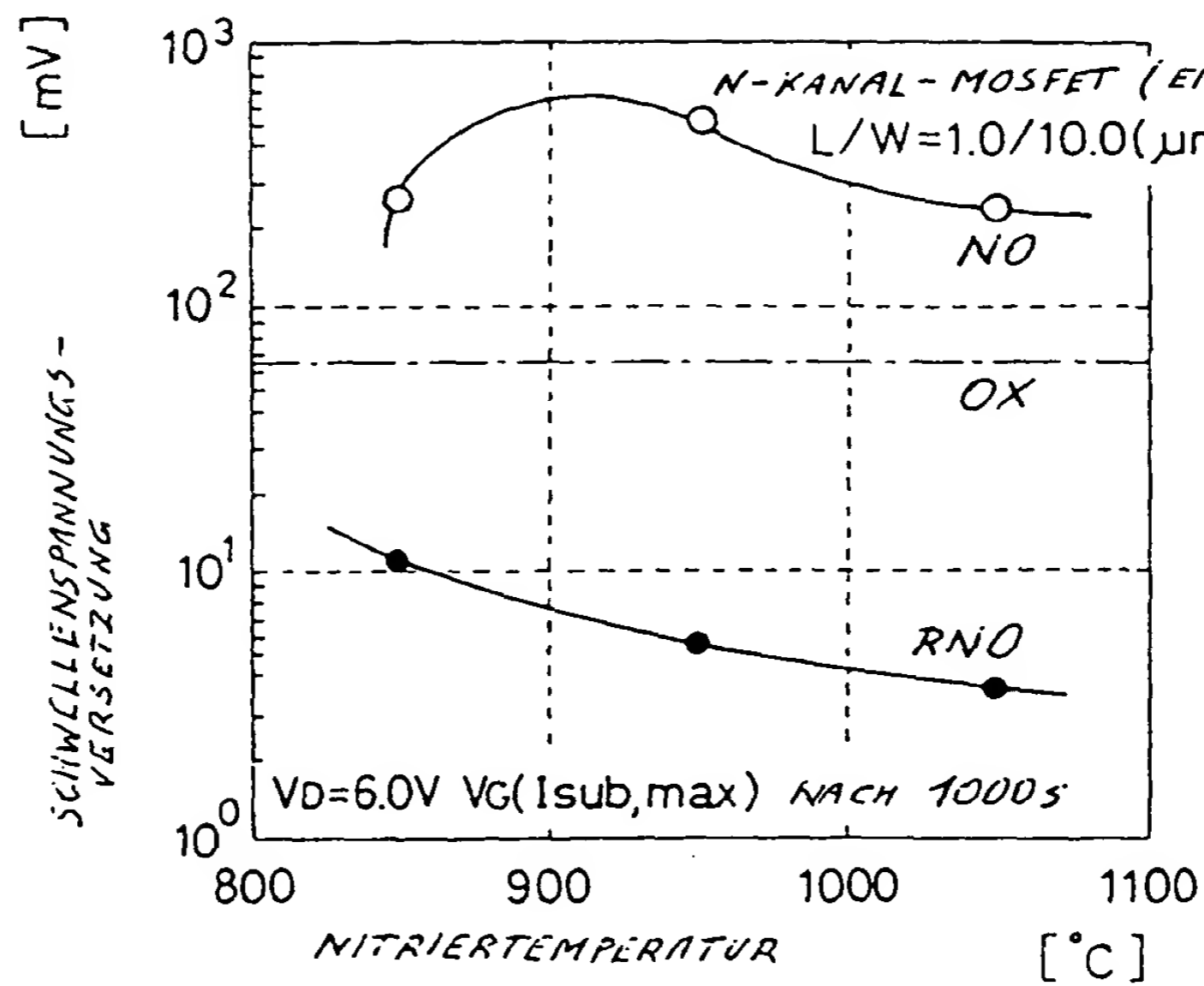


FIG. 49

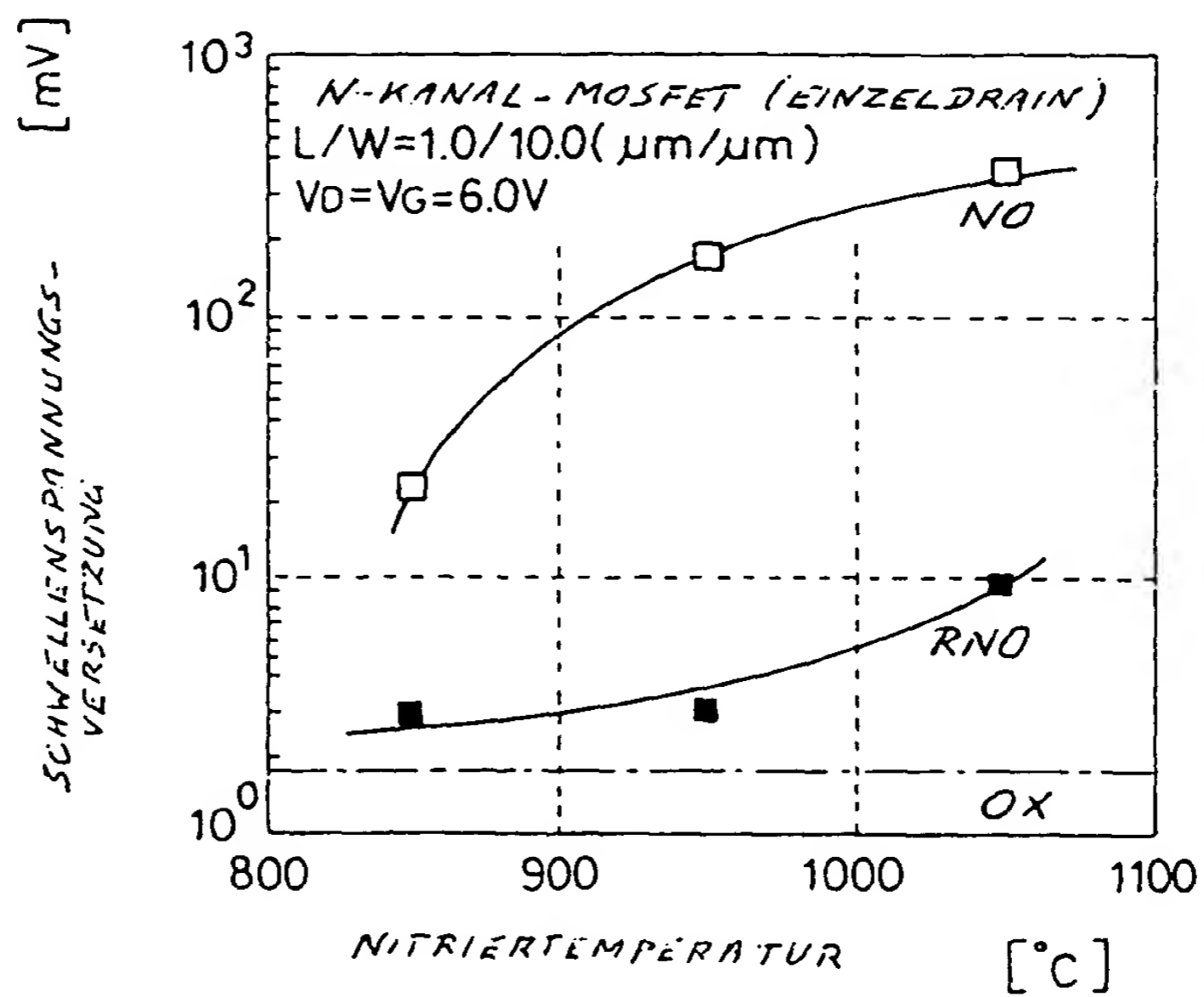


FIG. 50

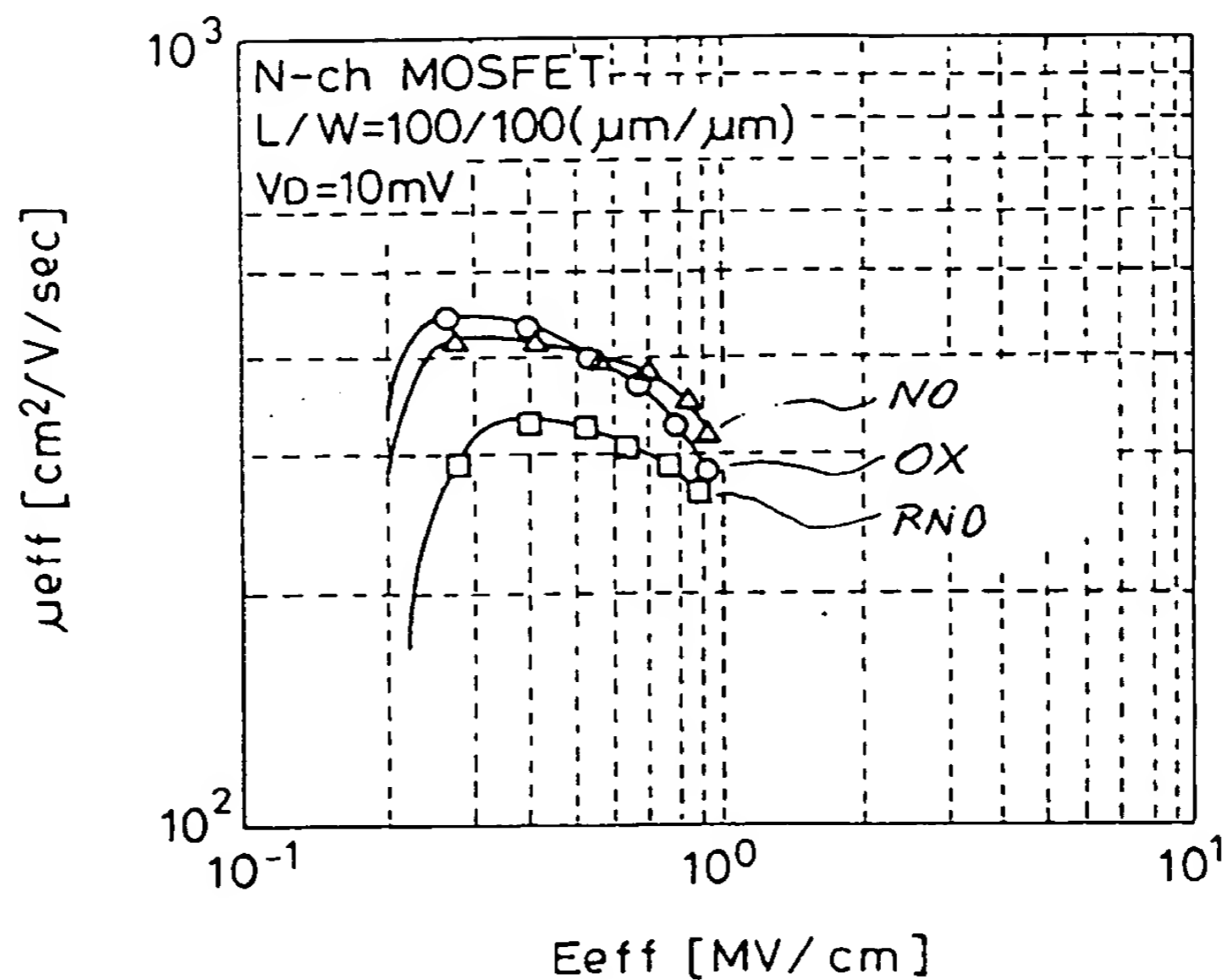


FIG. 51

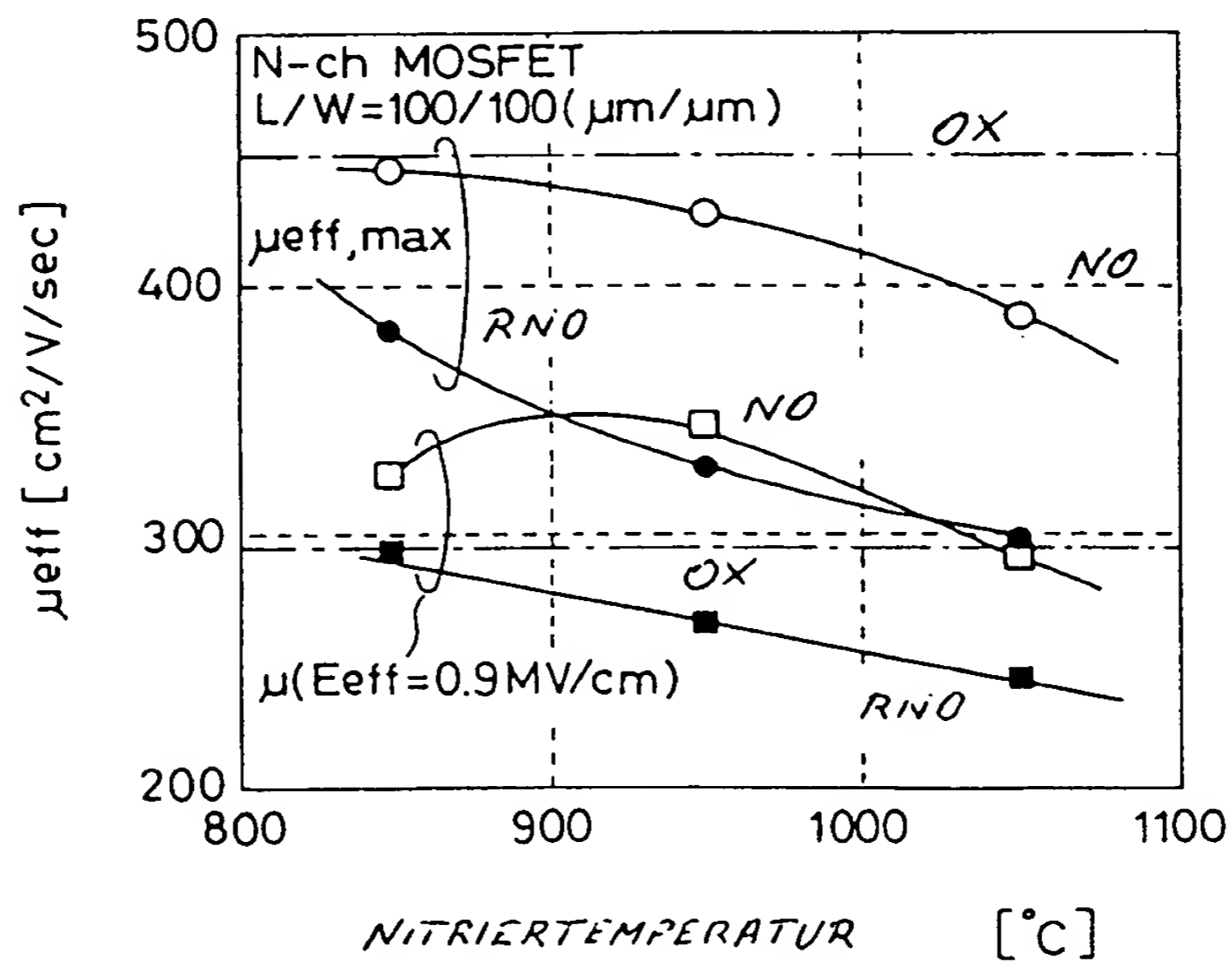


FIG. 52

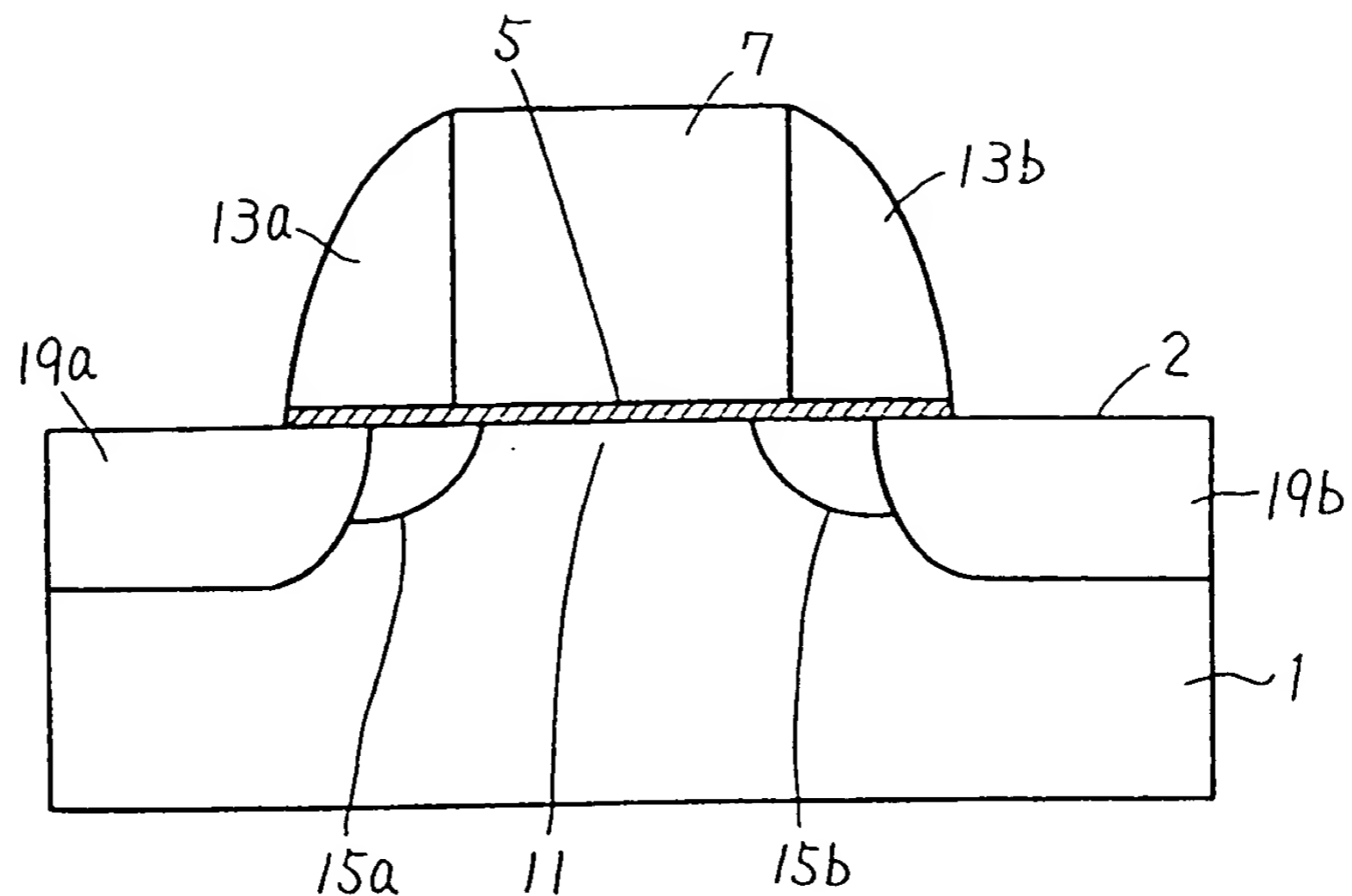


FIG. 53

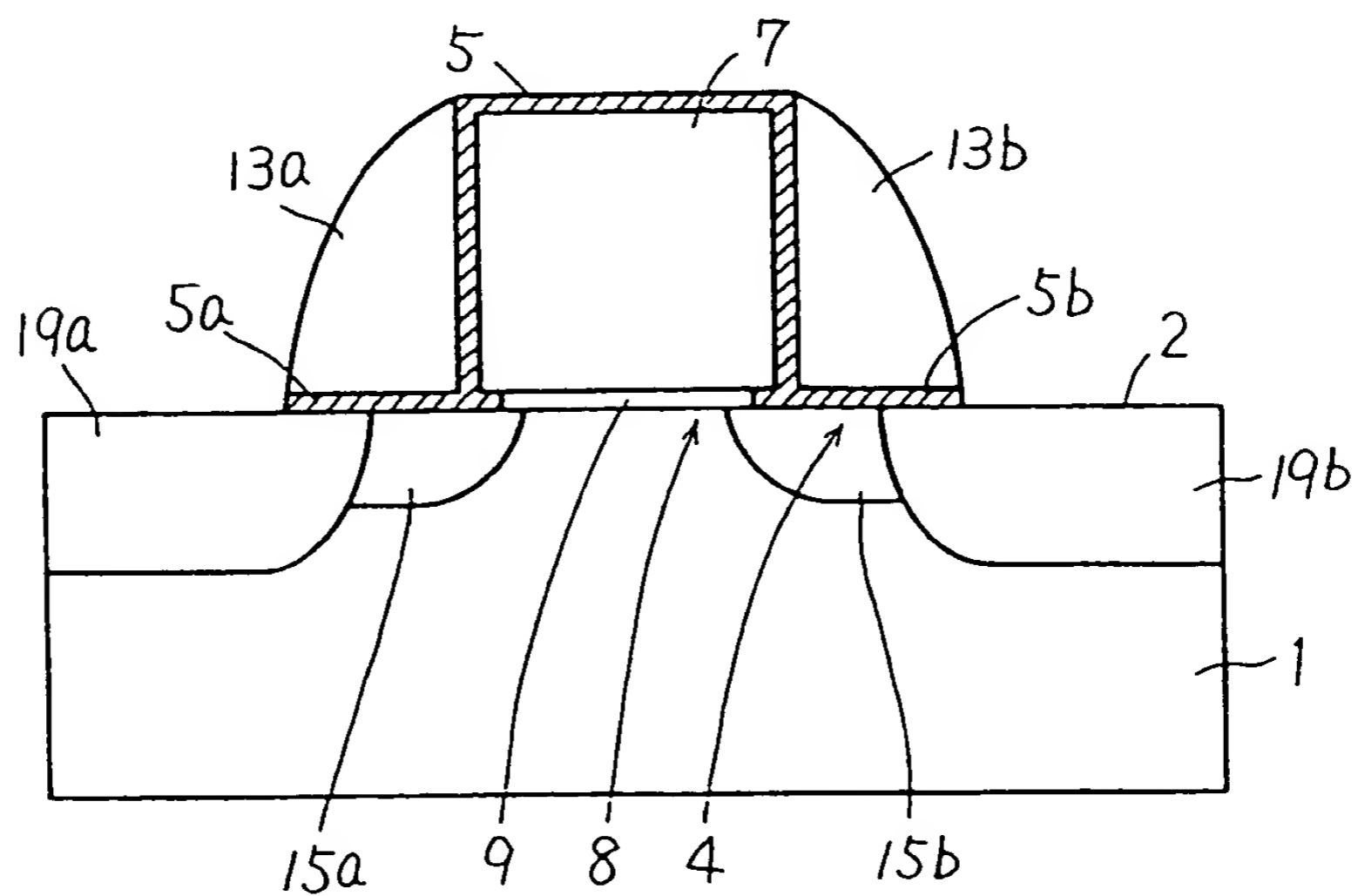


FIG. 54

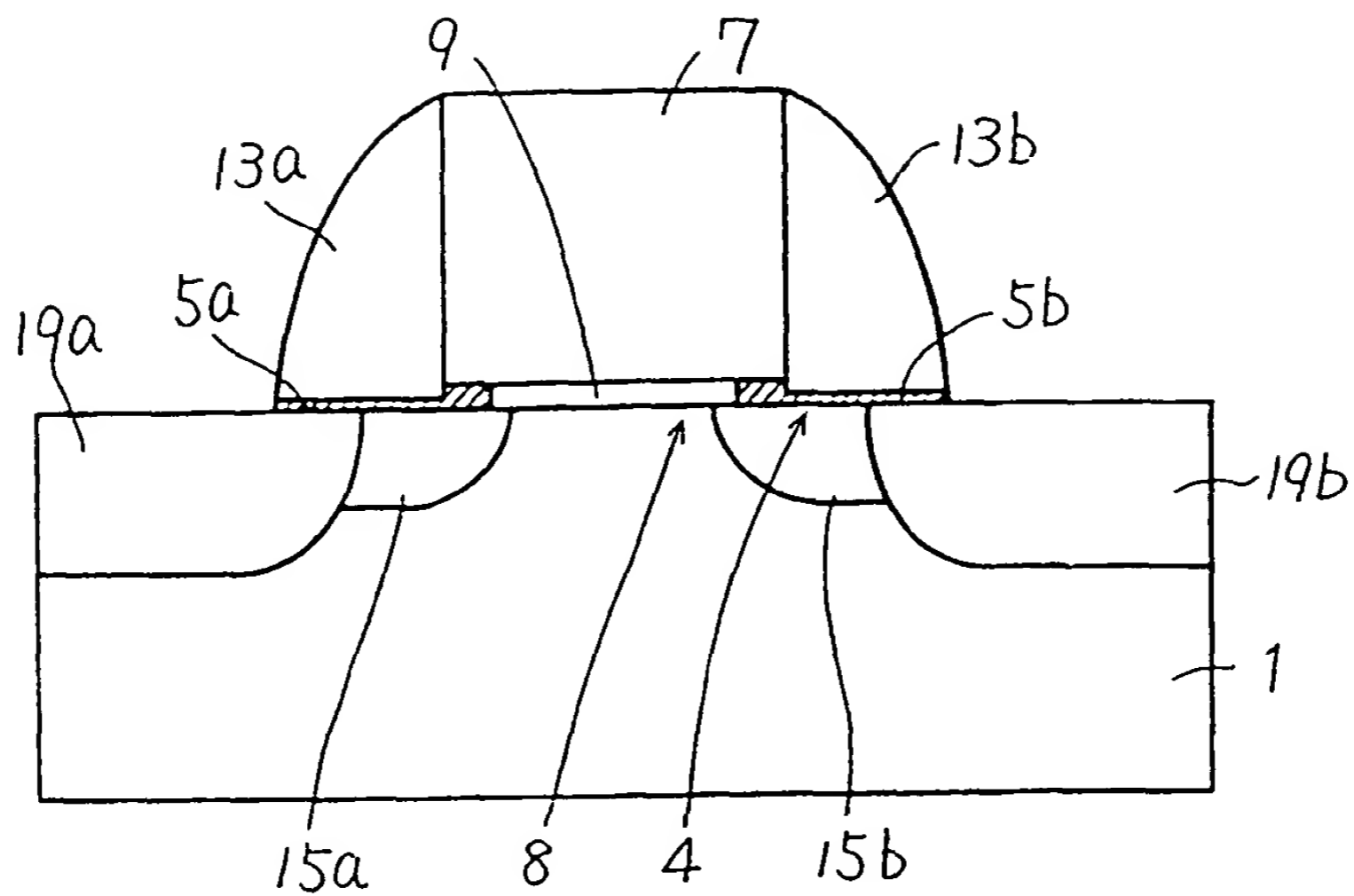


FIG. 55

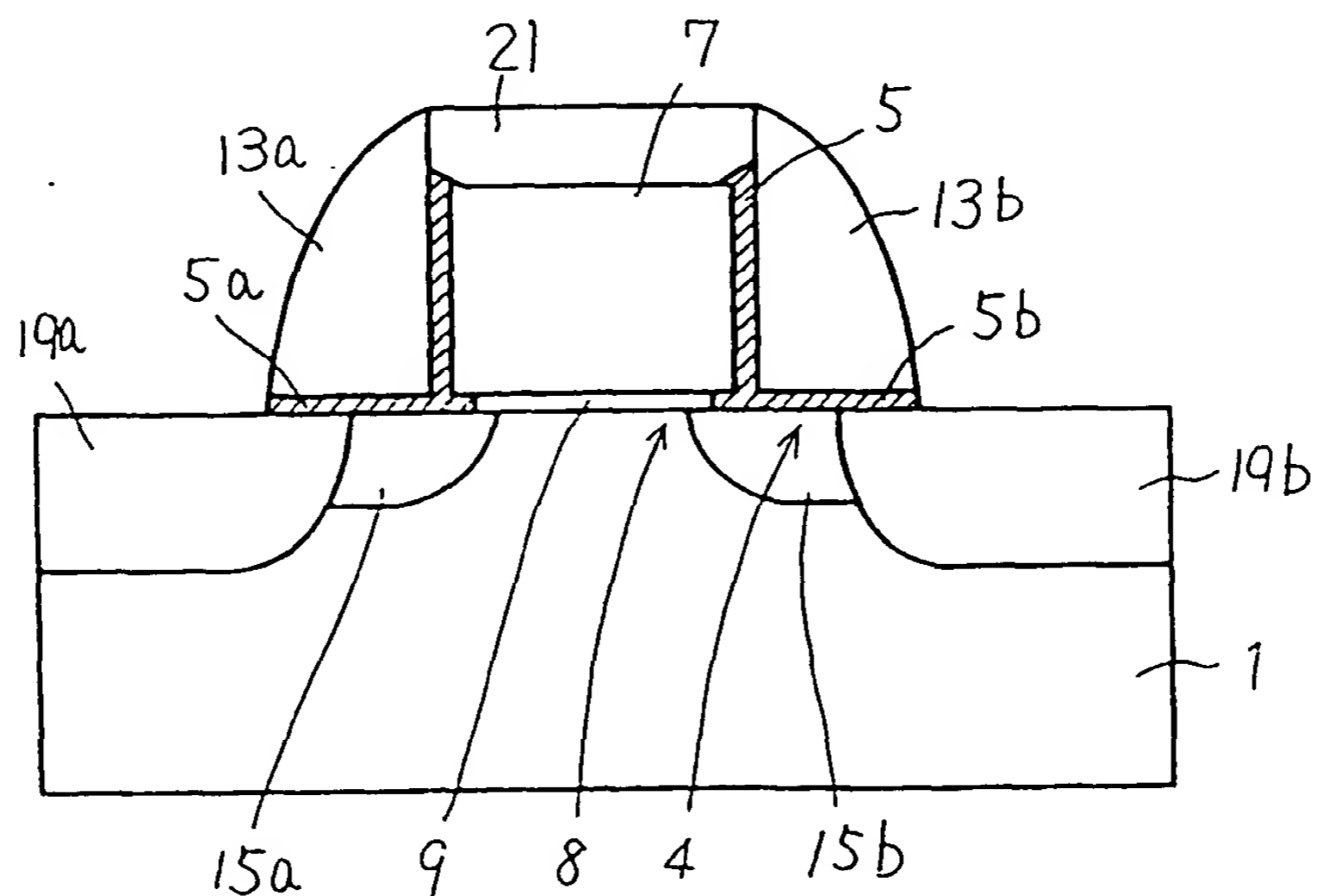


FIG. 56

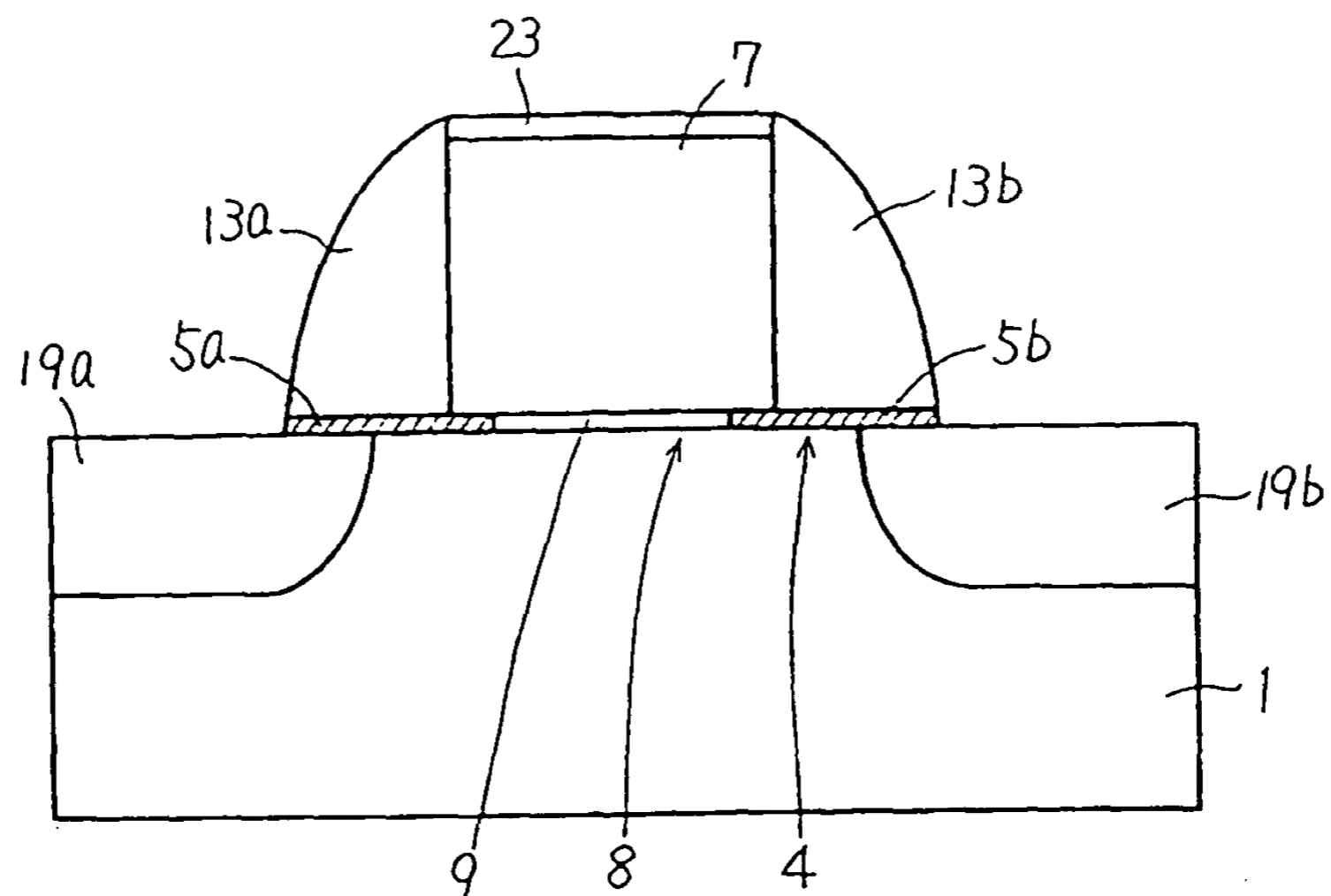


FIG. 57

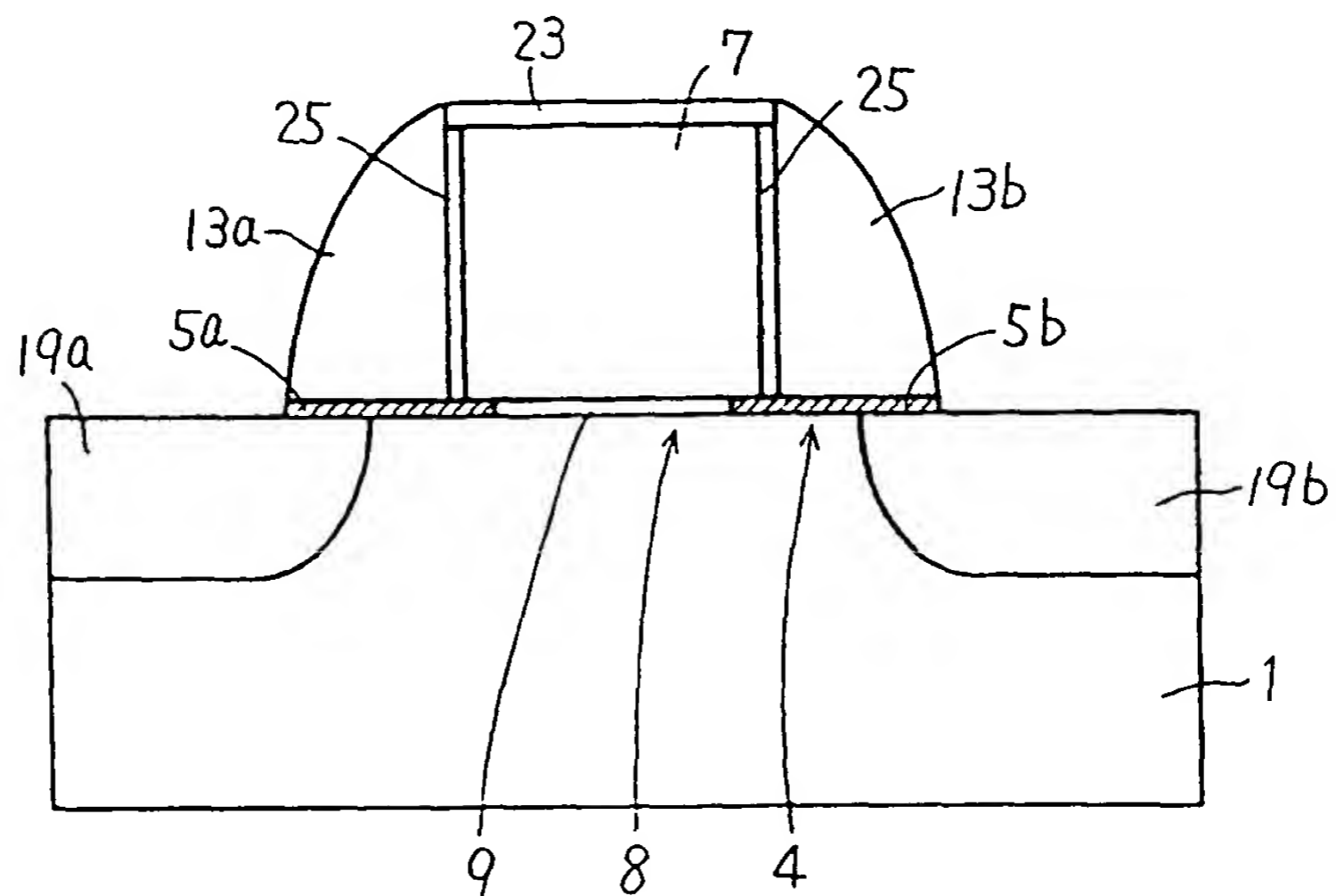


FIG. 58

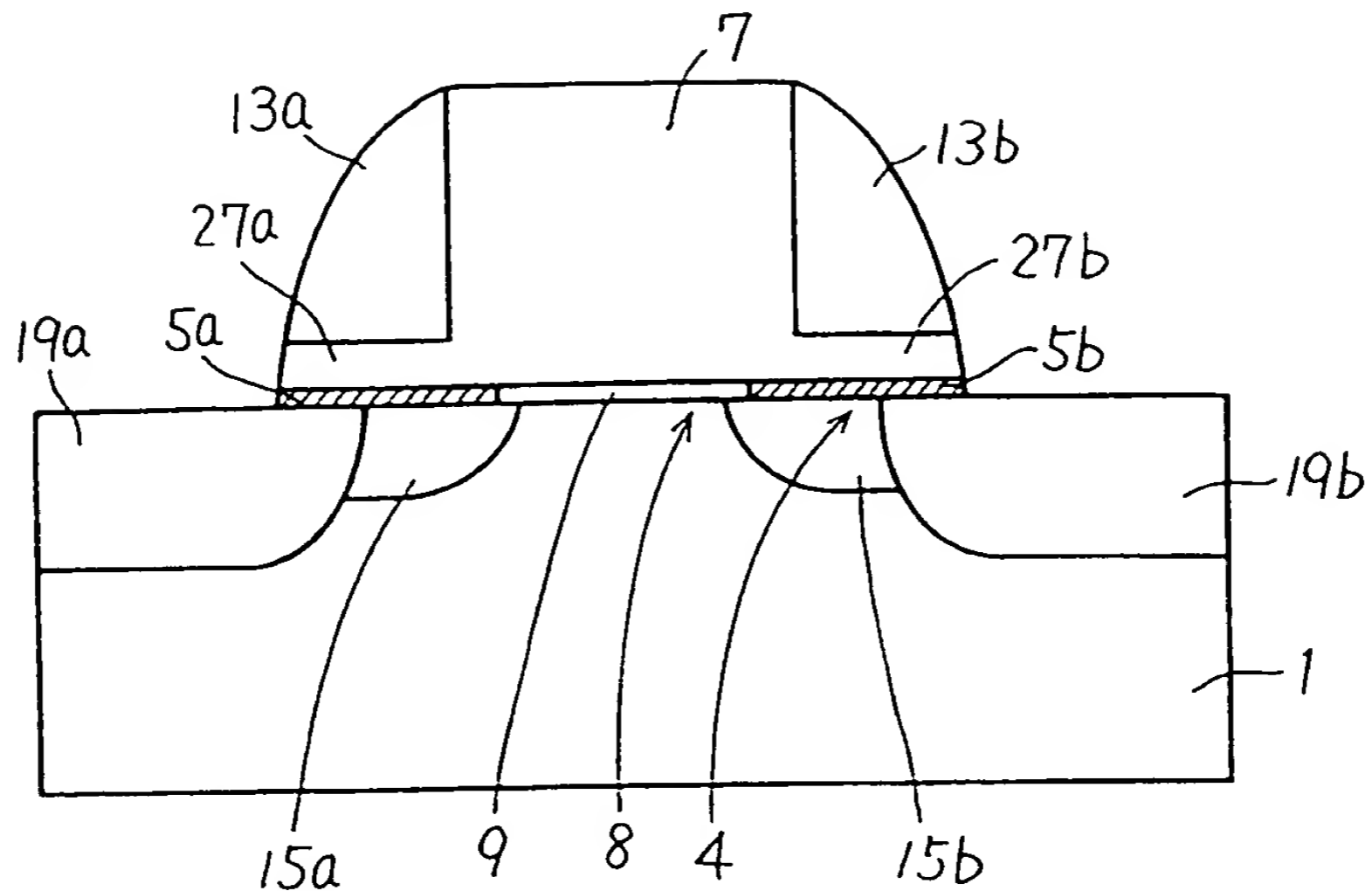


FIG. 59

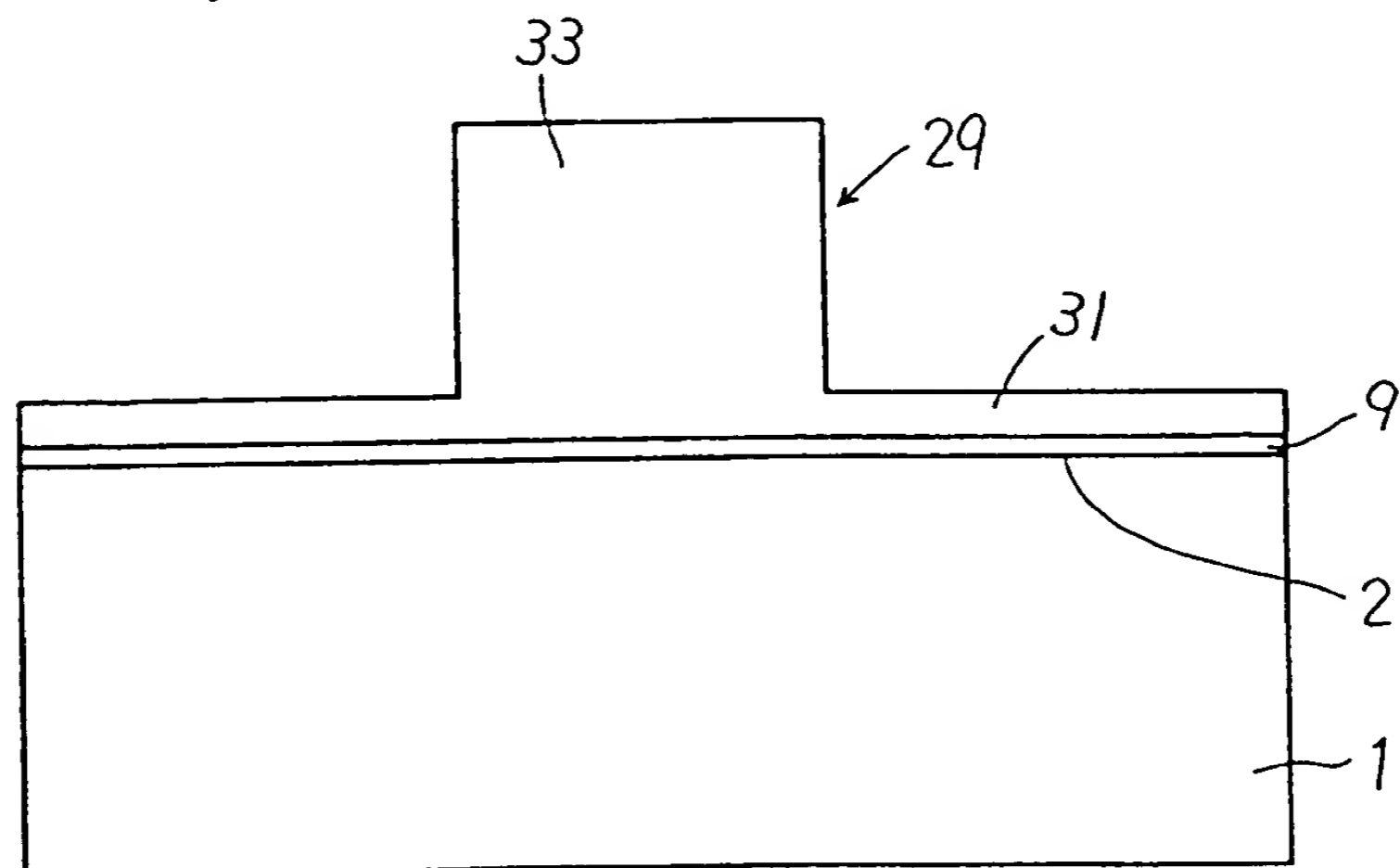


FIG. 60

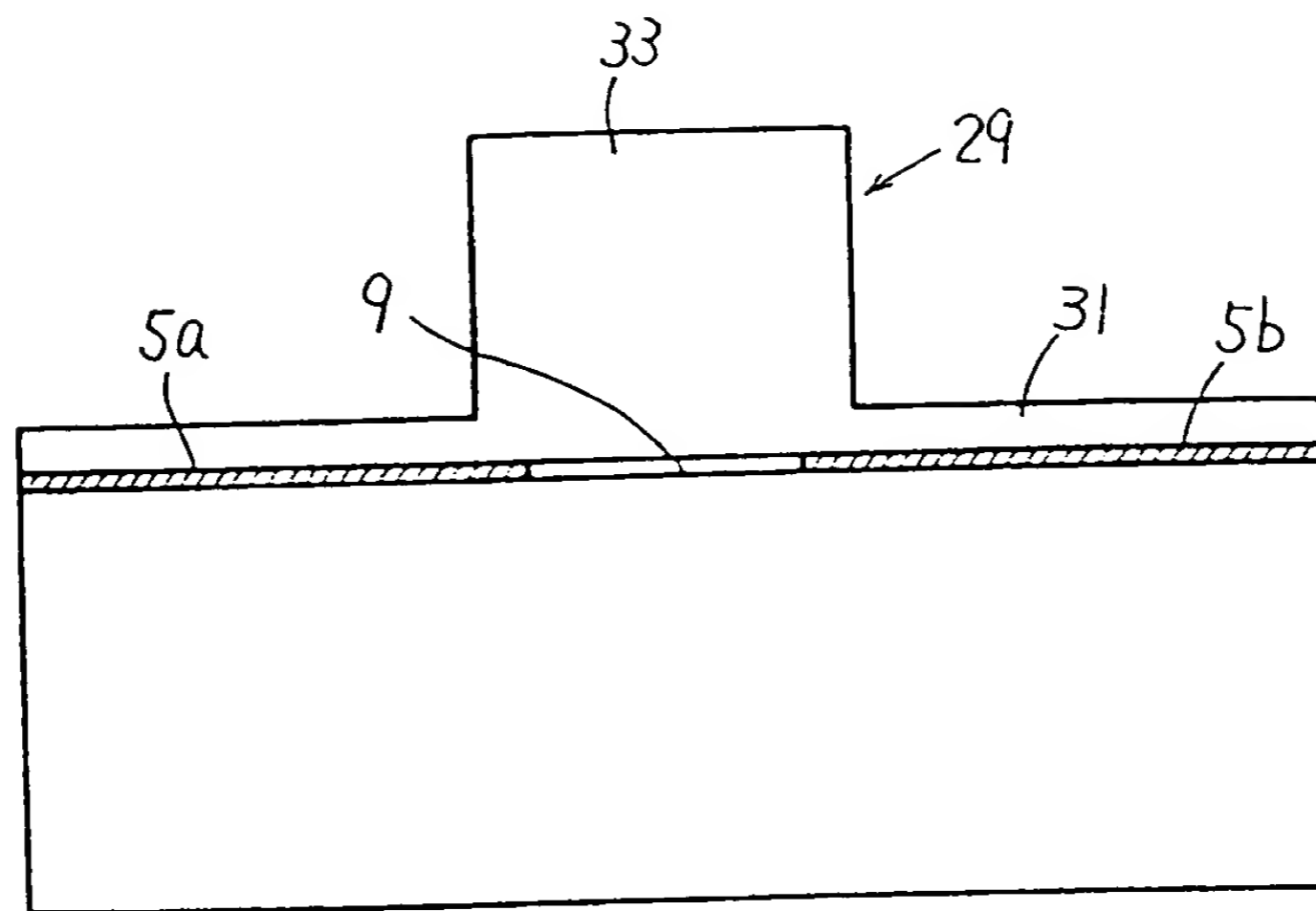


FIG. 61

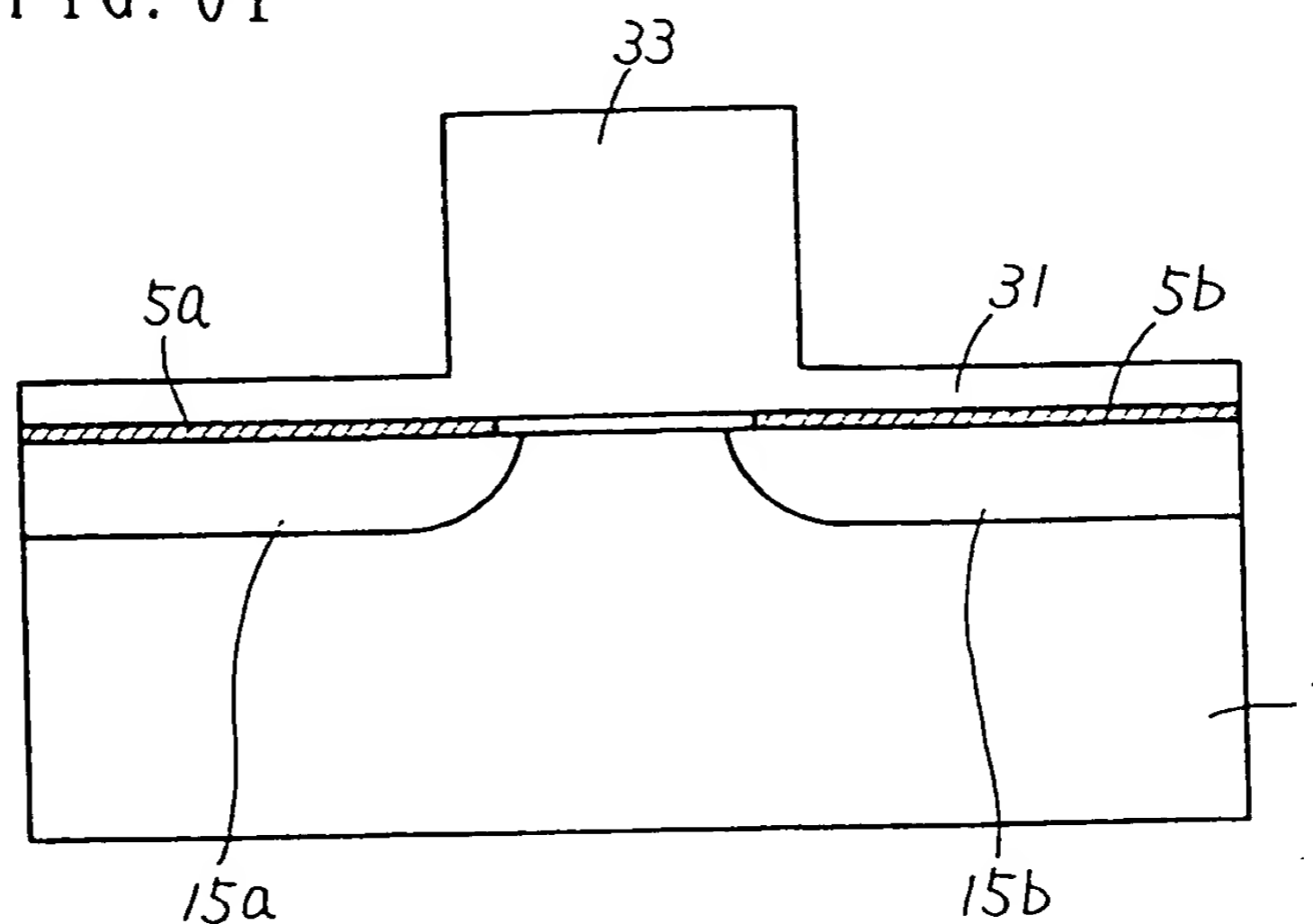


FIG. 62

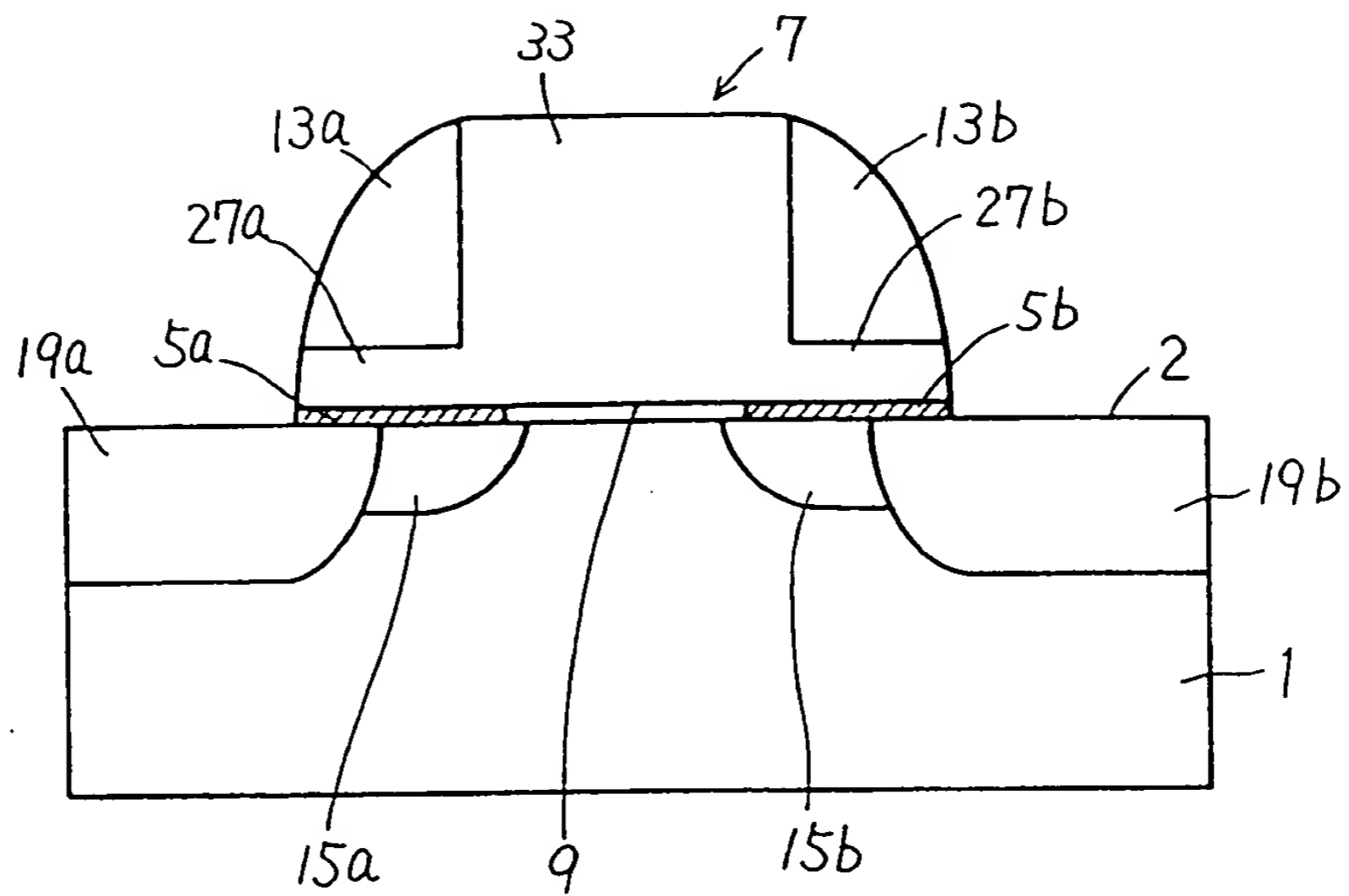


FIG. 63

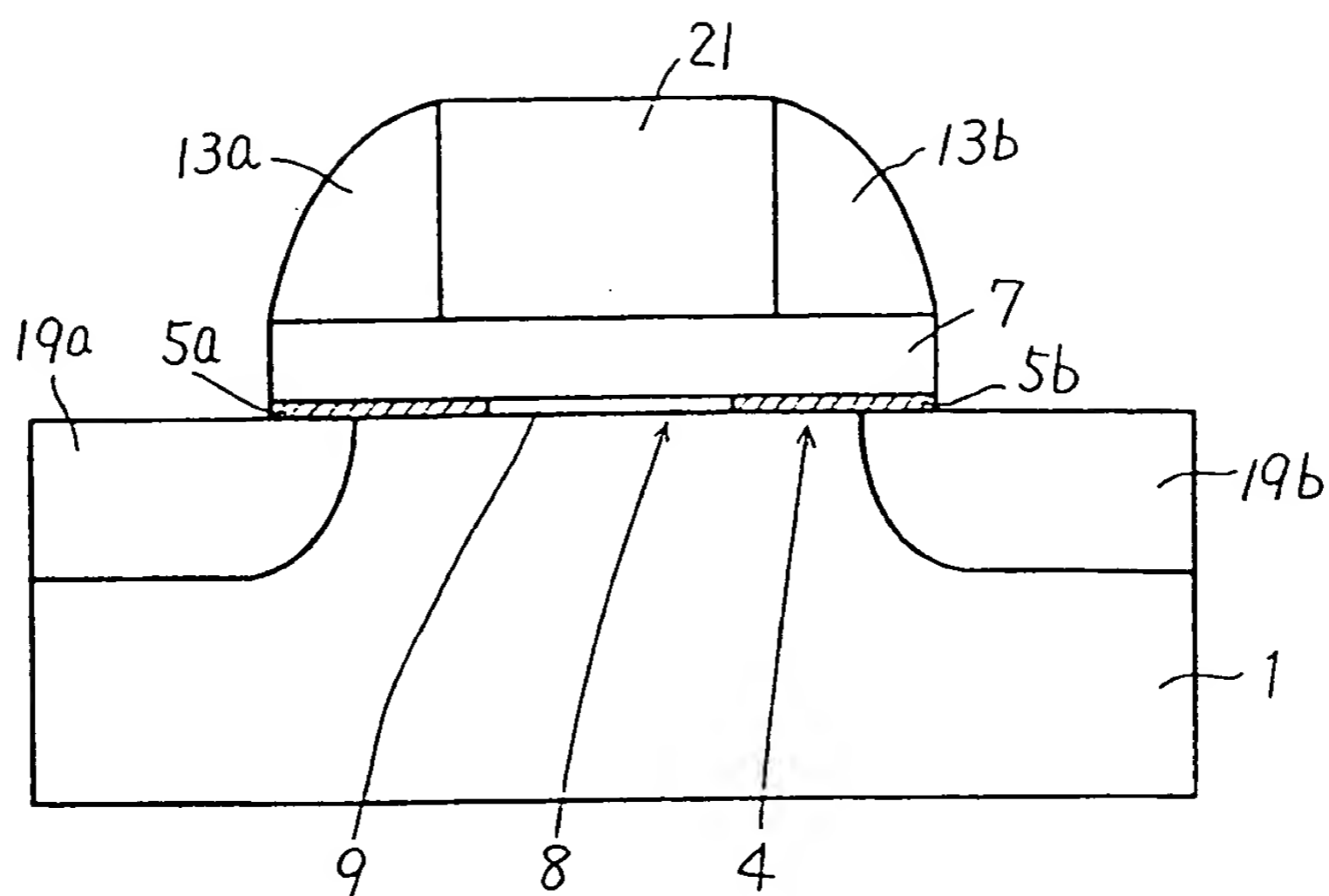


FIG. 64

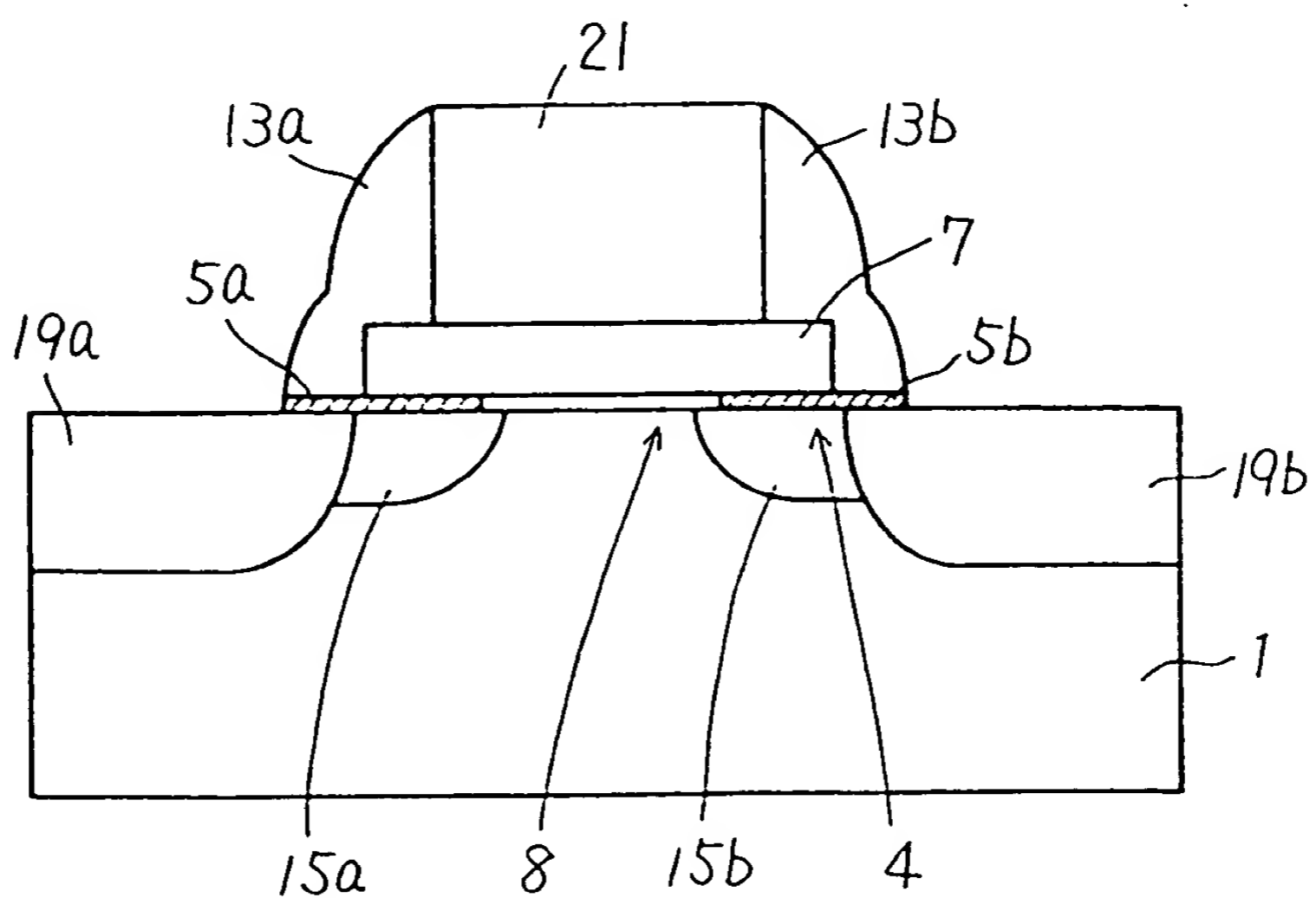


FIG. 65

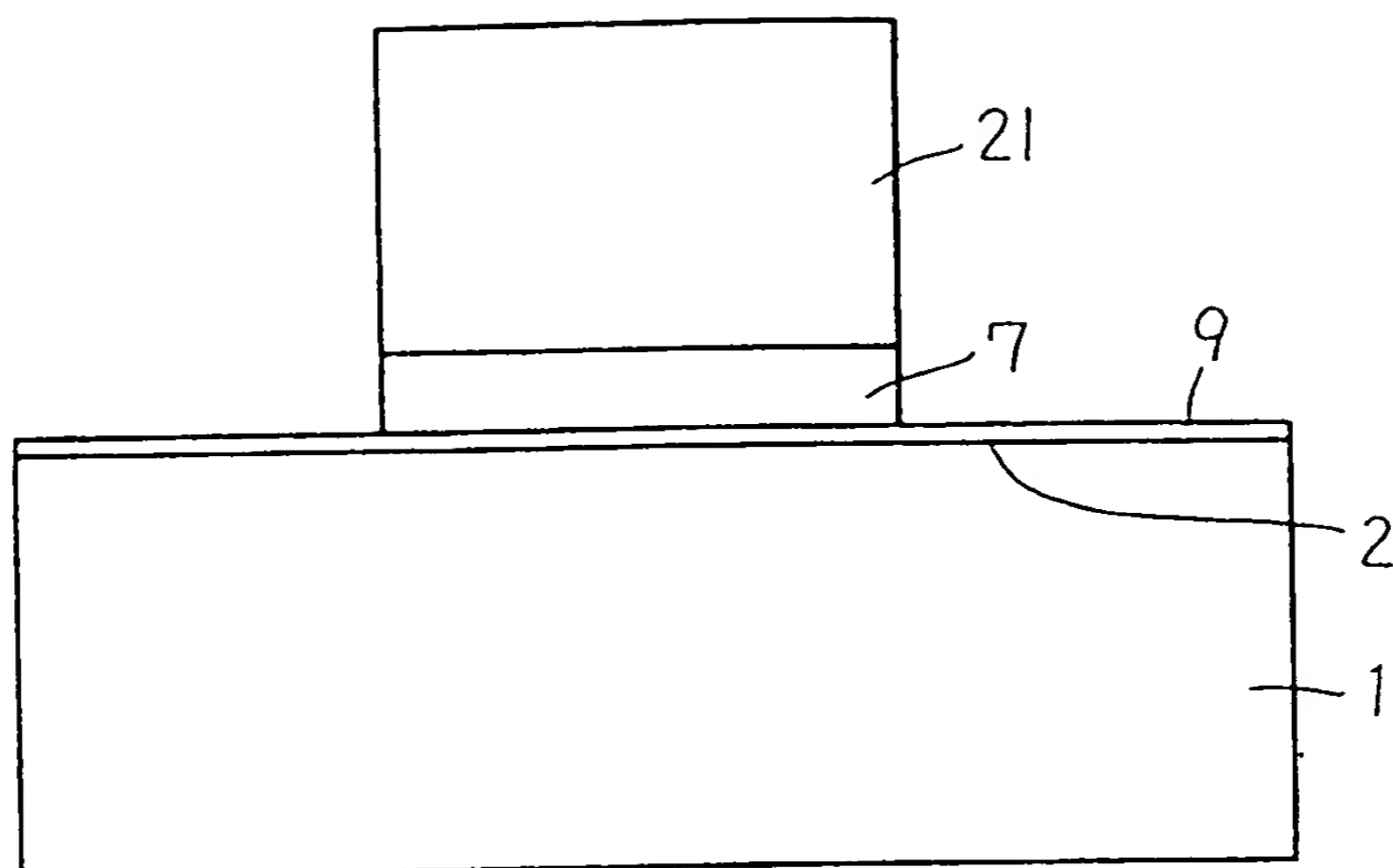


FIG. 66

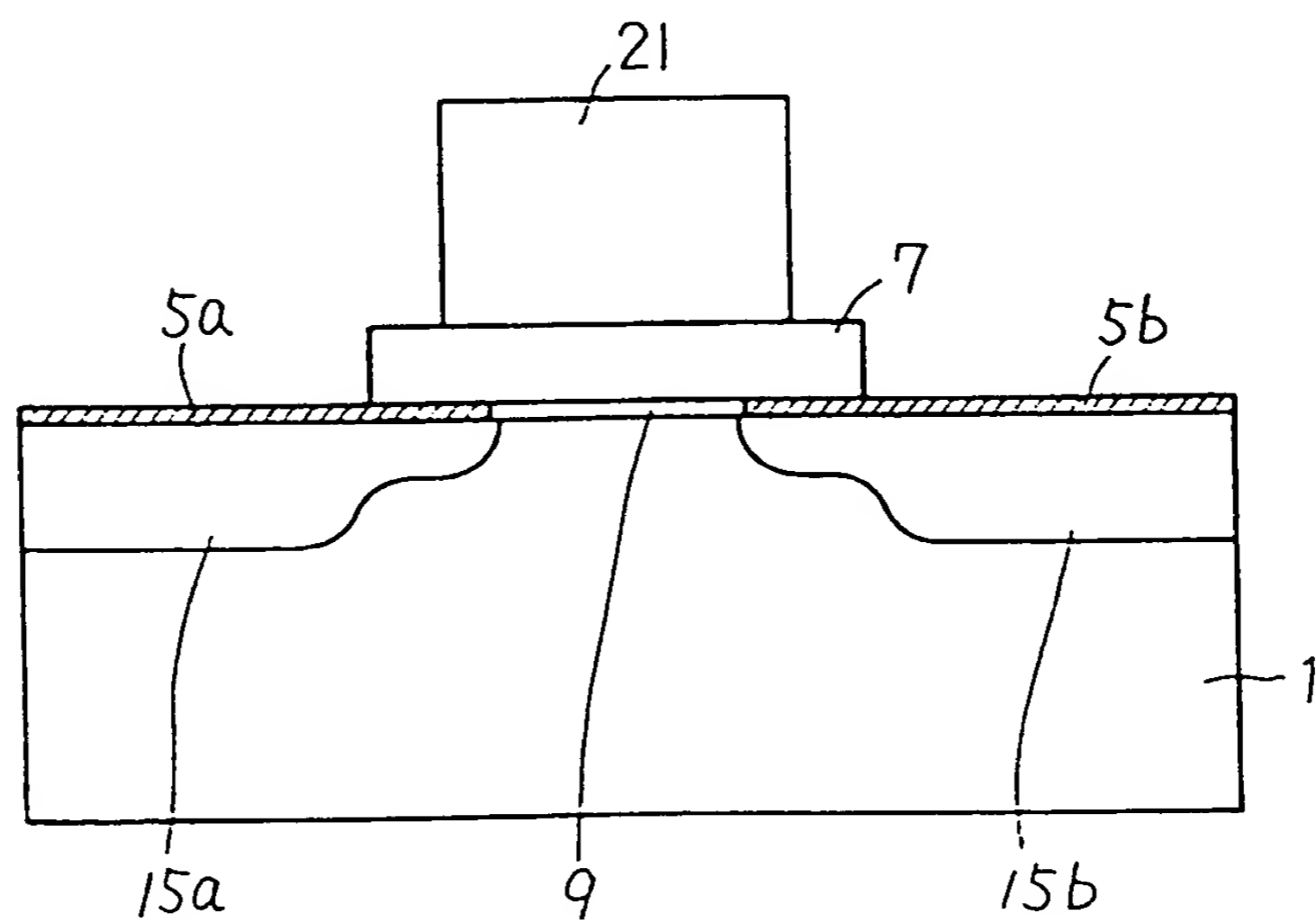


FIG. 67

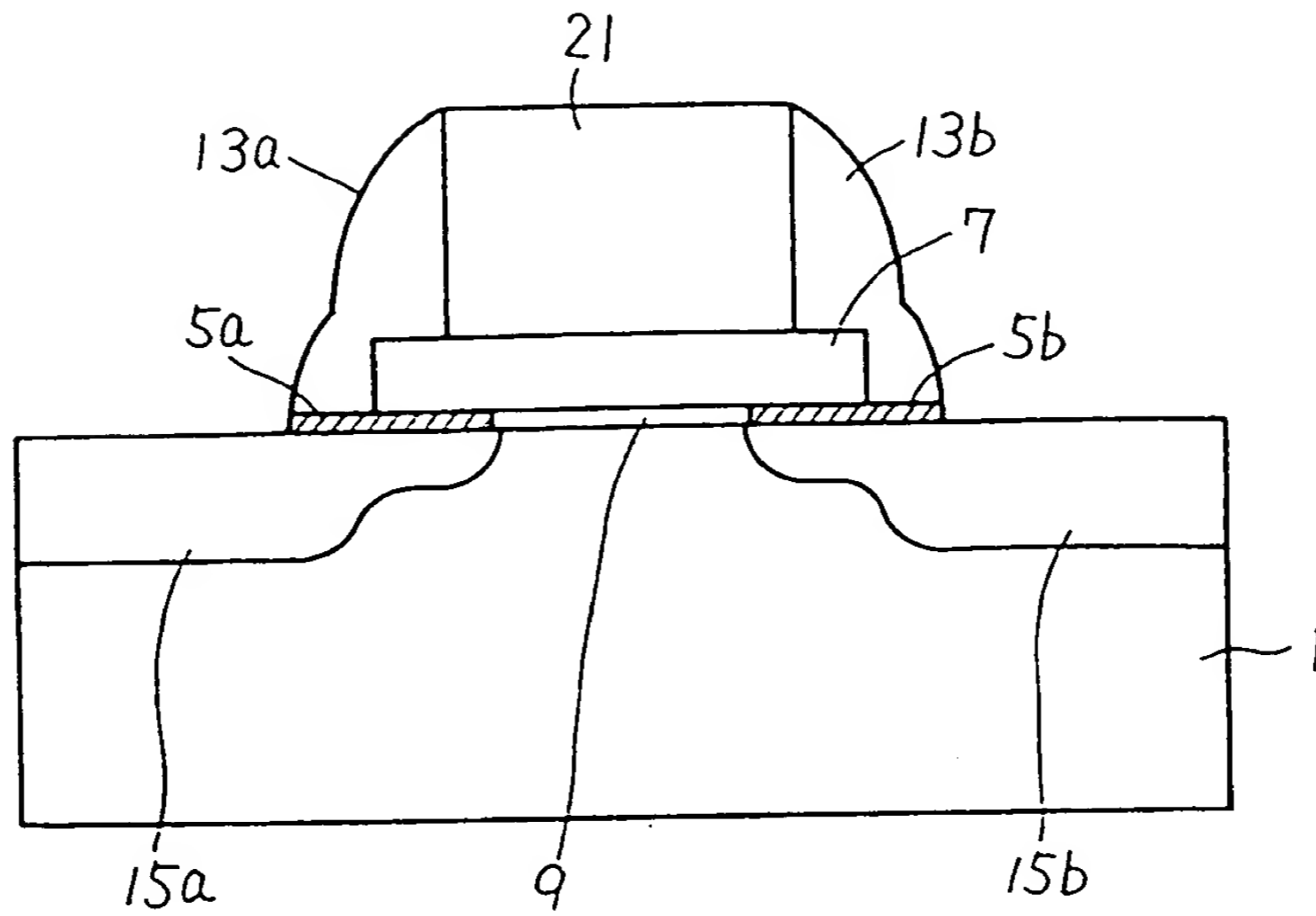


FIG. 68

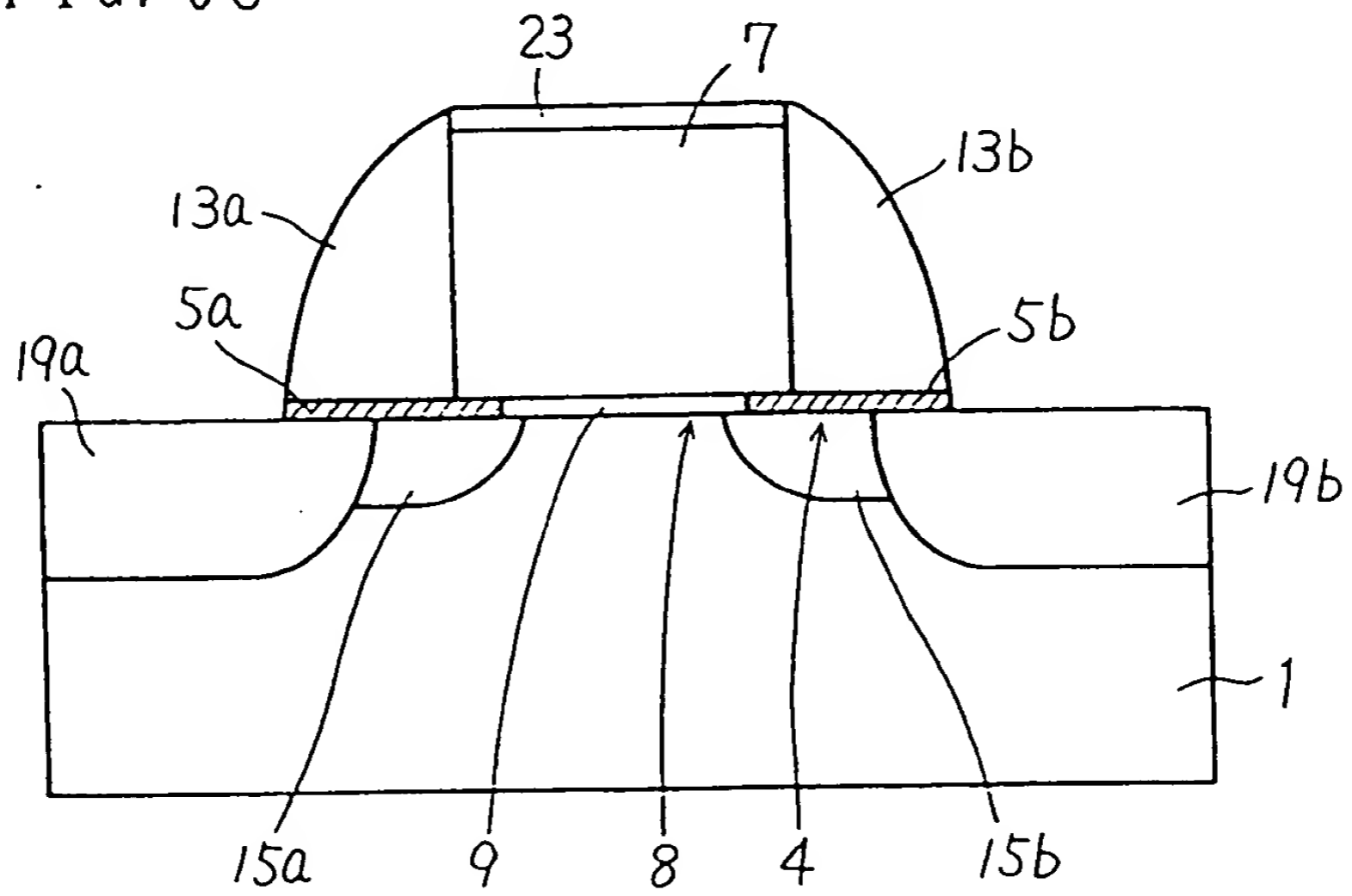


FIG. 69

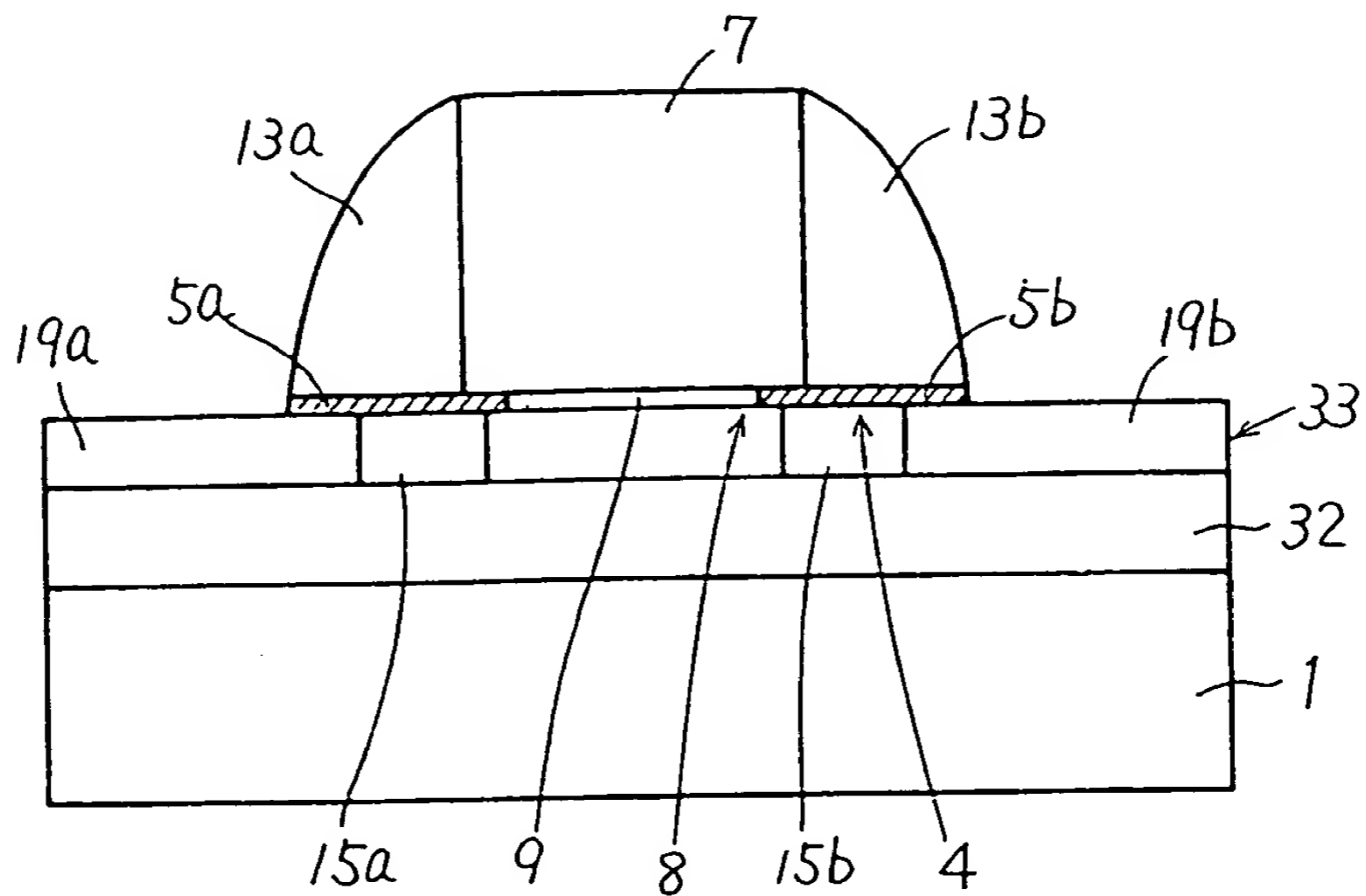


FIG. 70

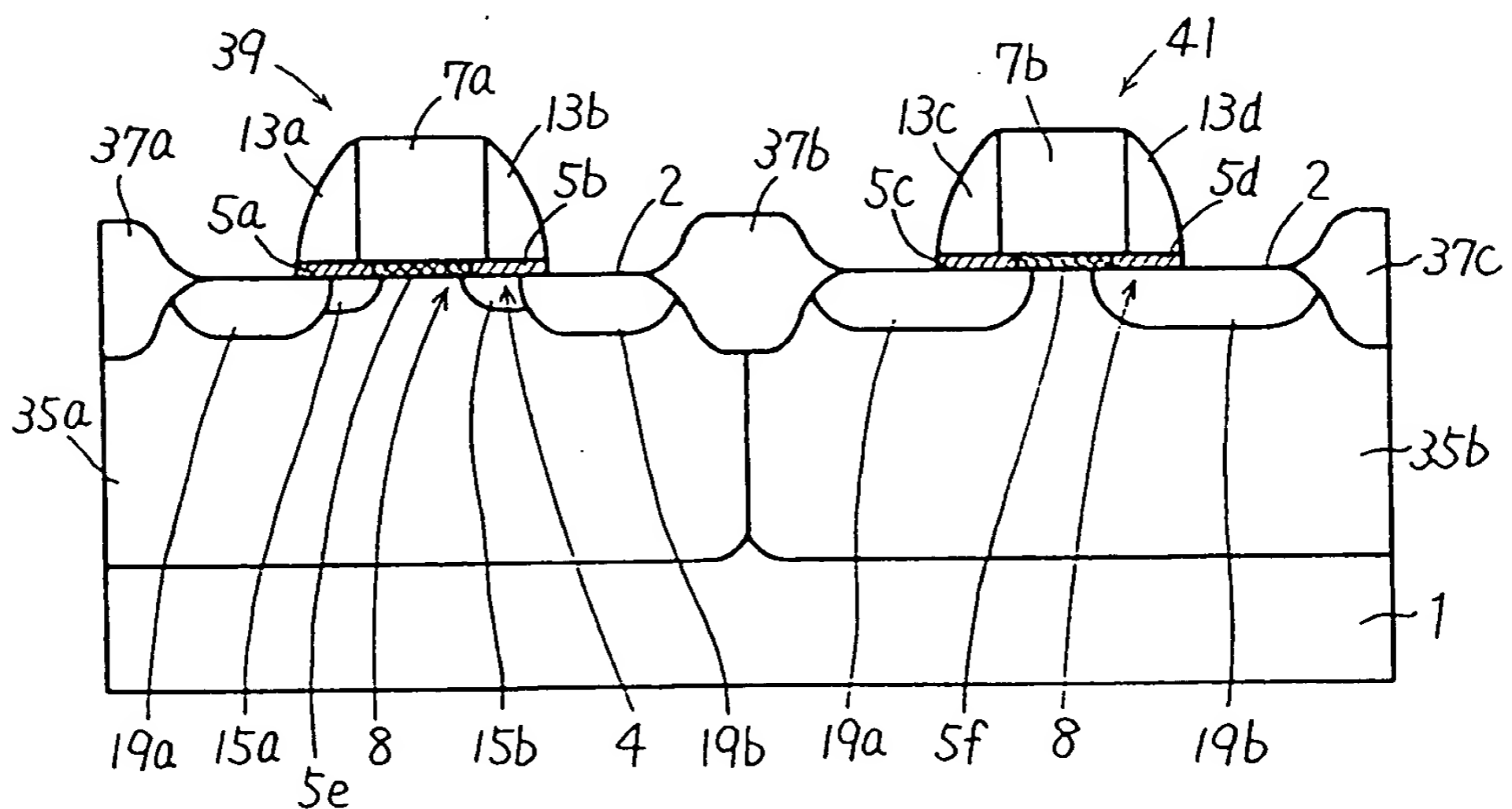


FIG. 71 *STAND DER TECHNIK*

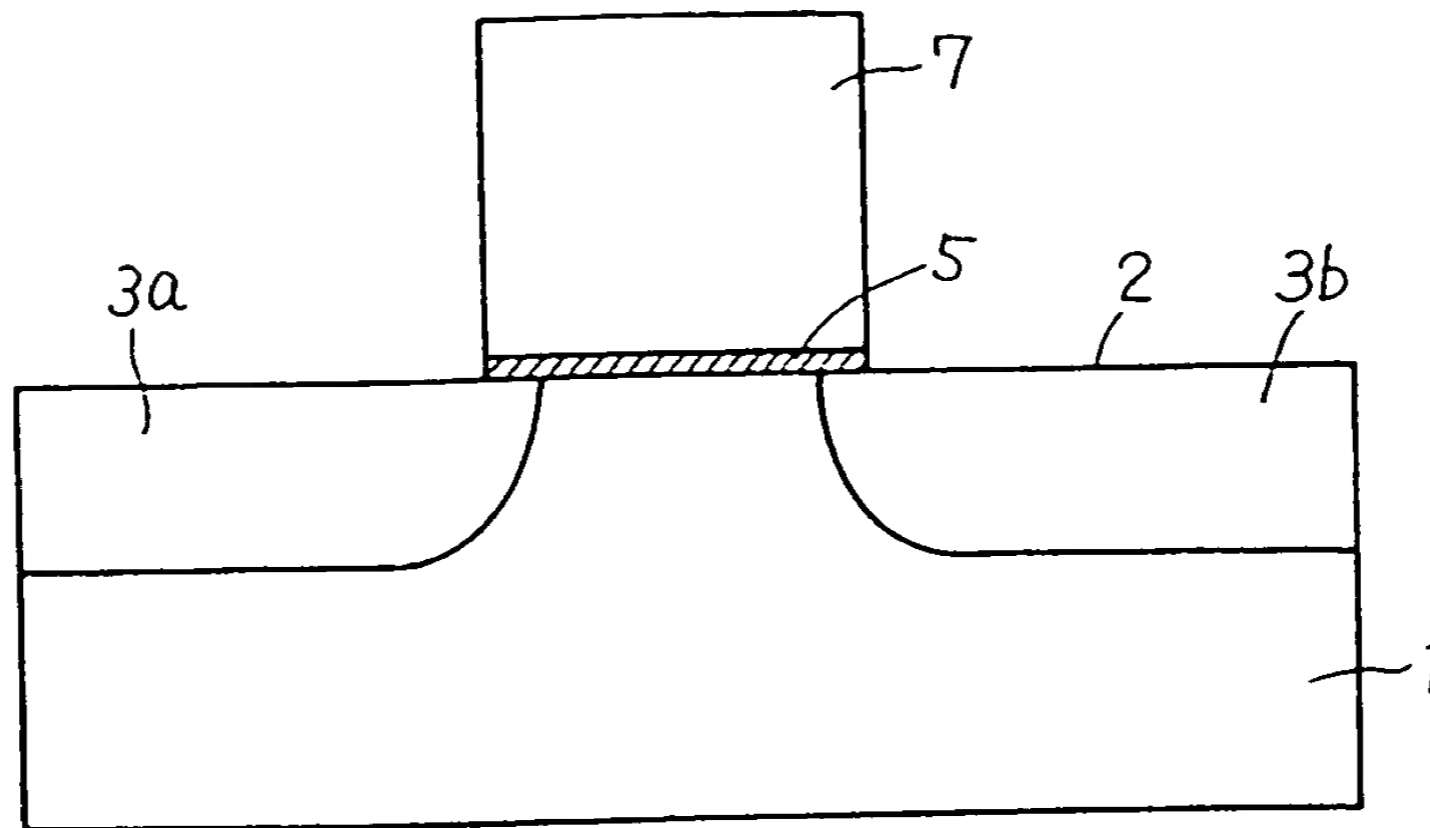


FIG. 72

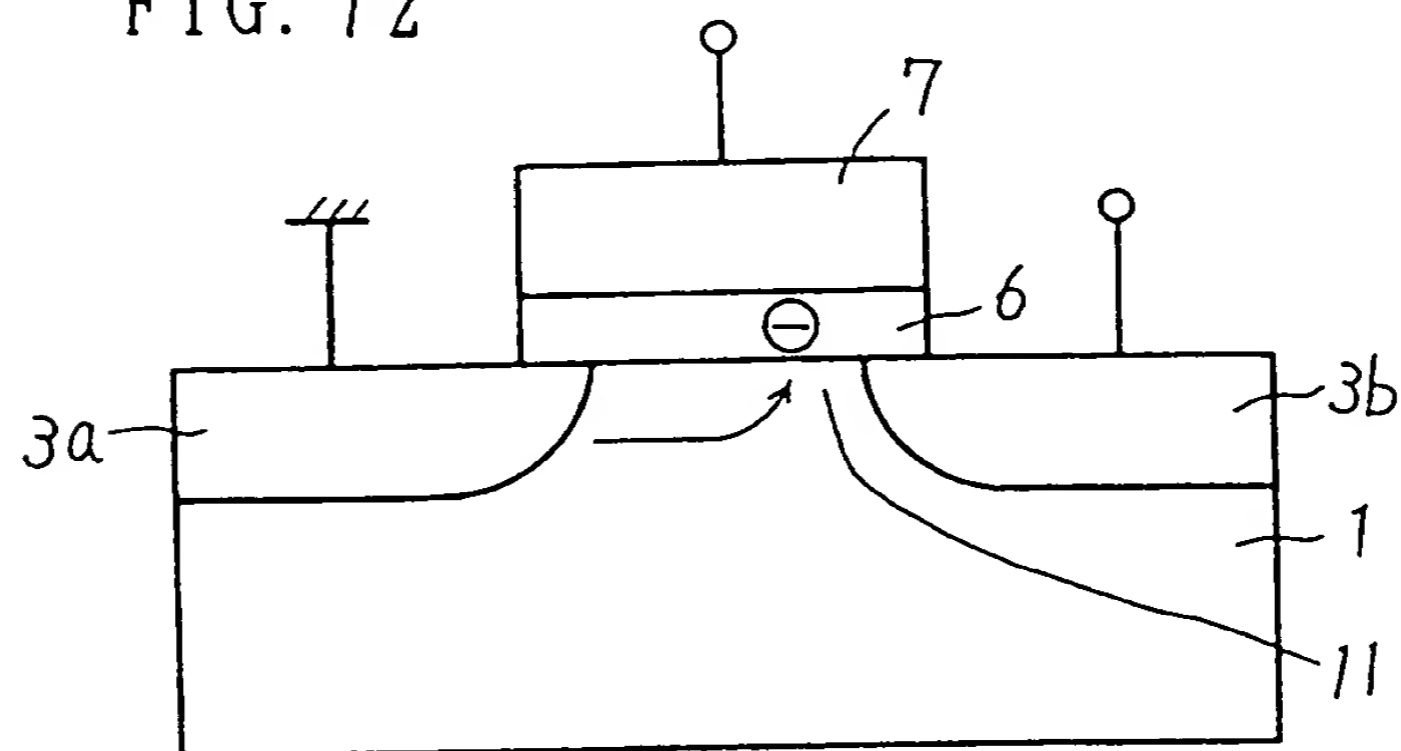


FIG. 73

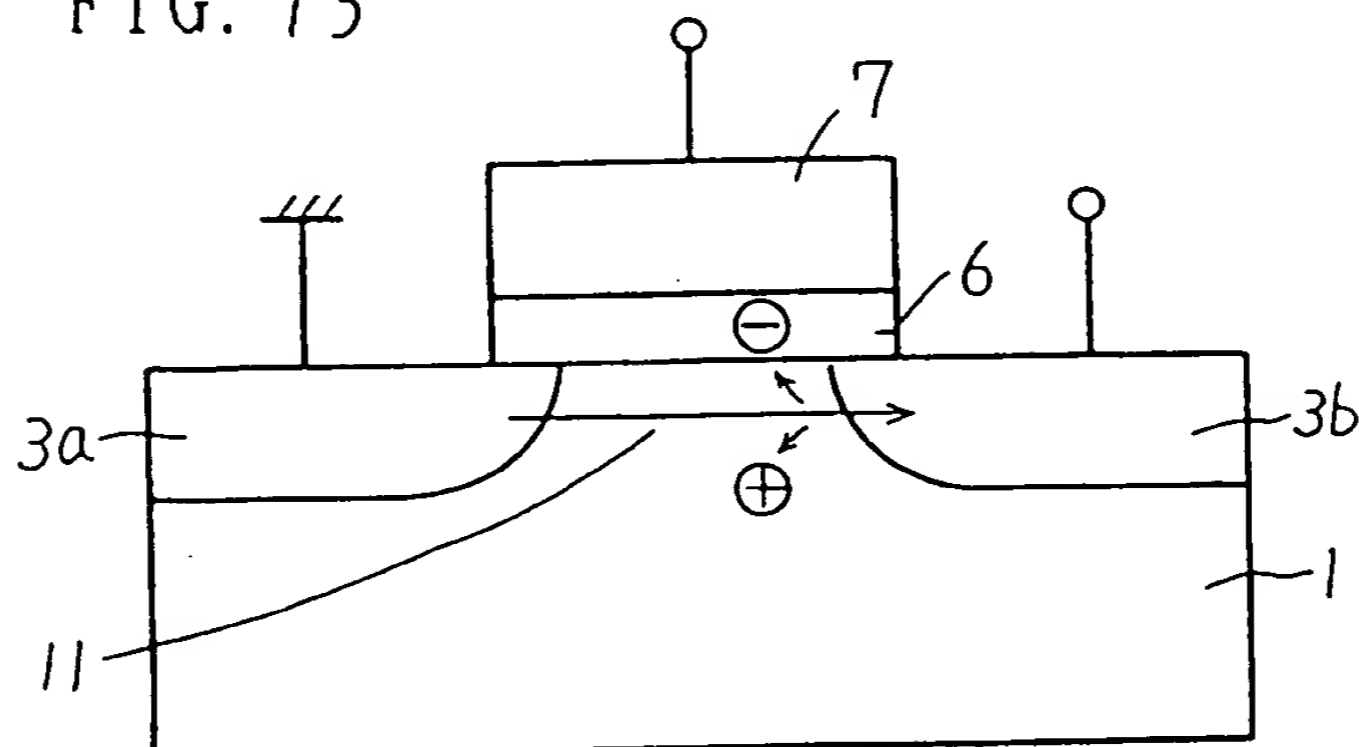


FIG. 74

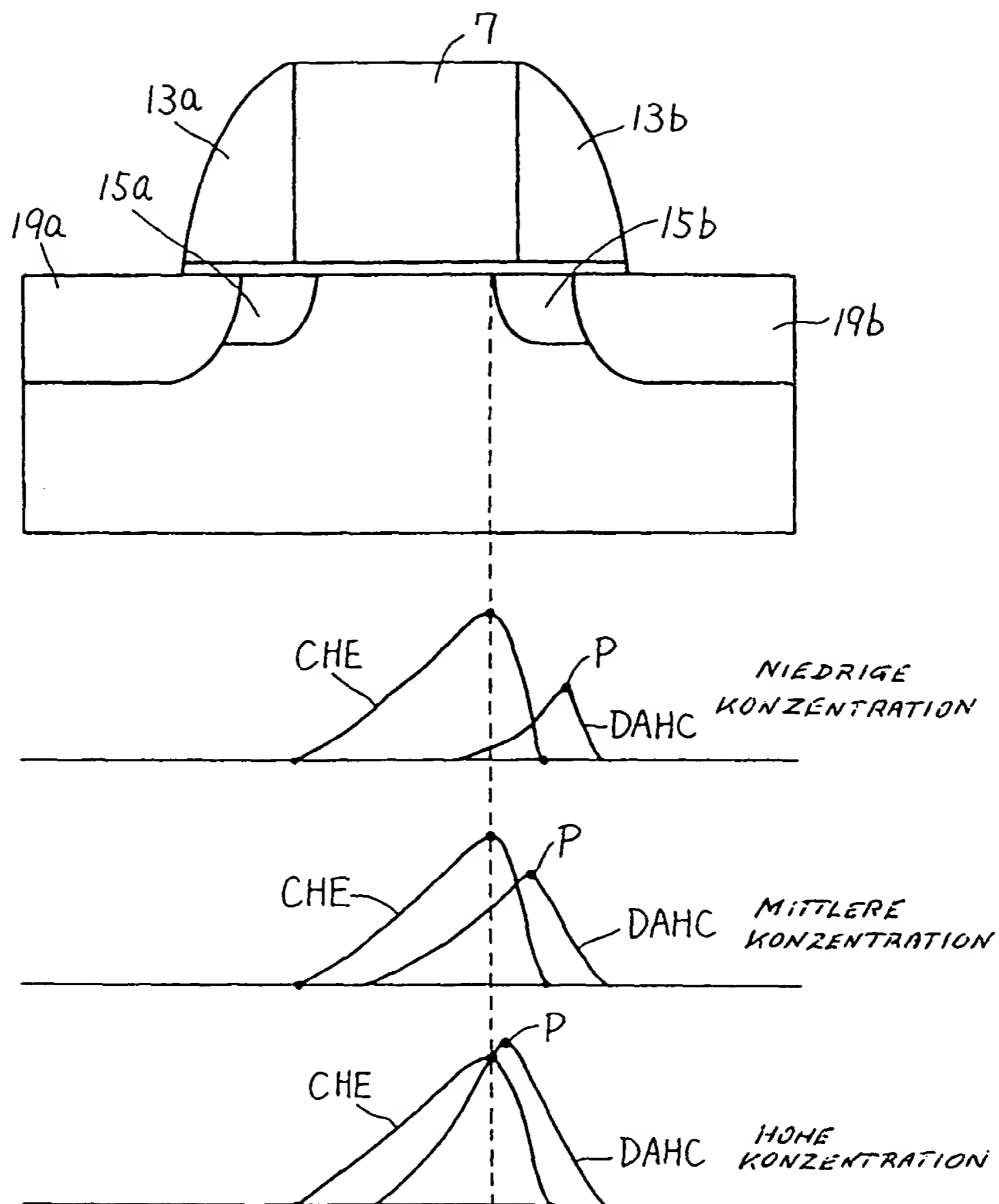


FIG.75

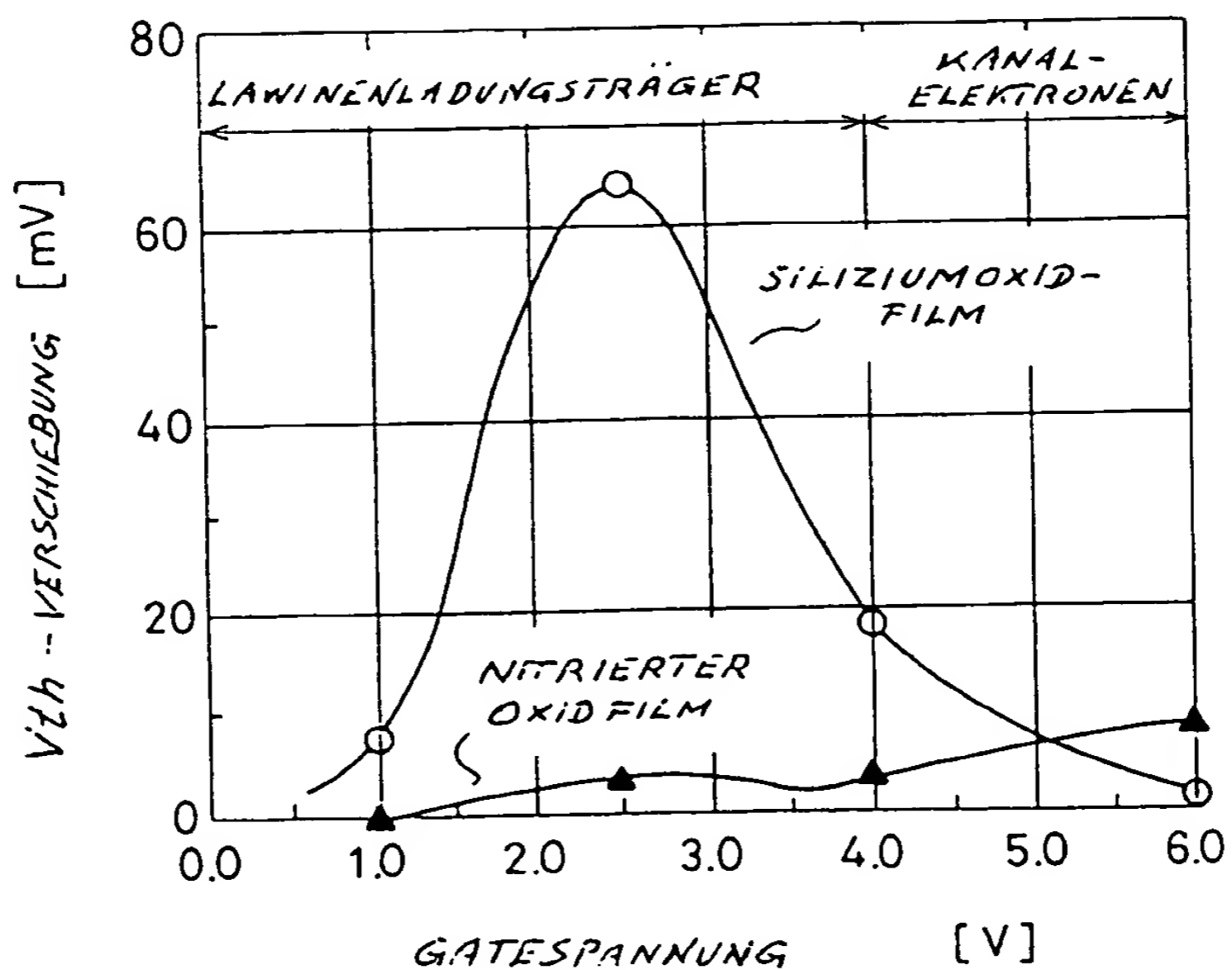


FIG.76

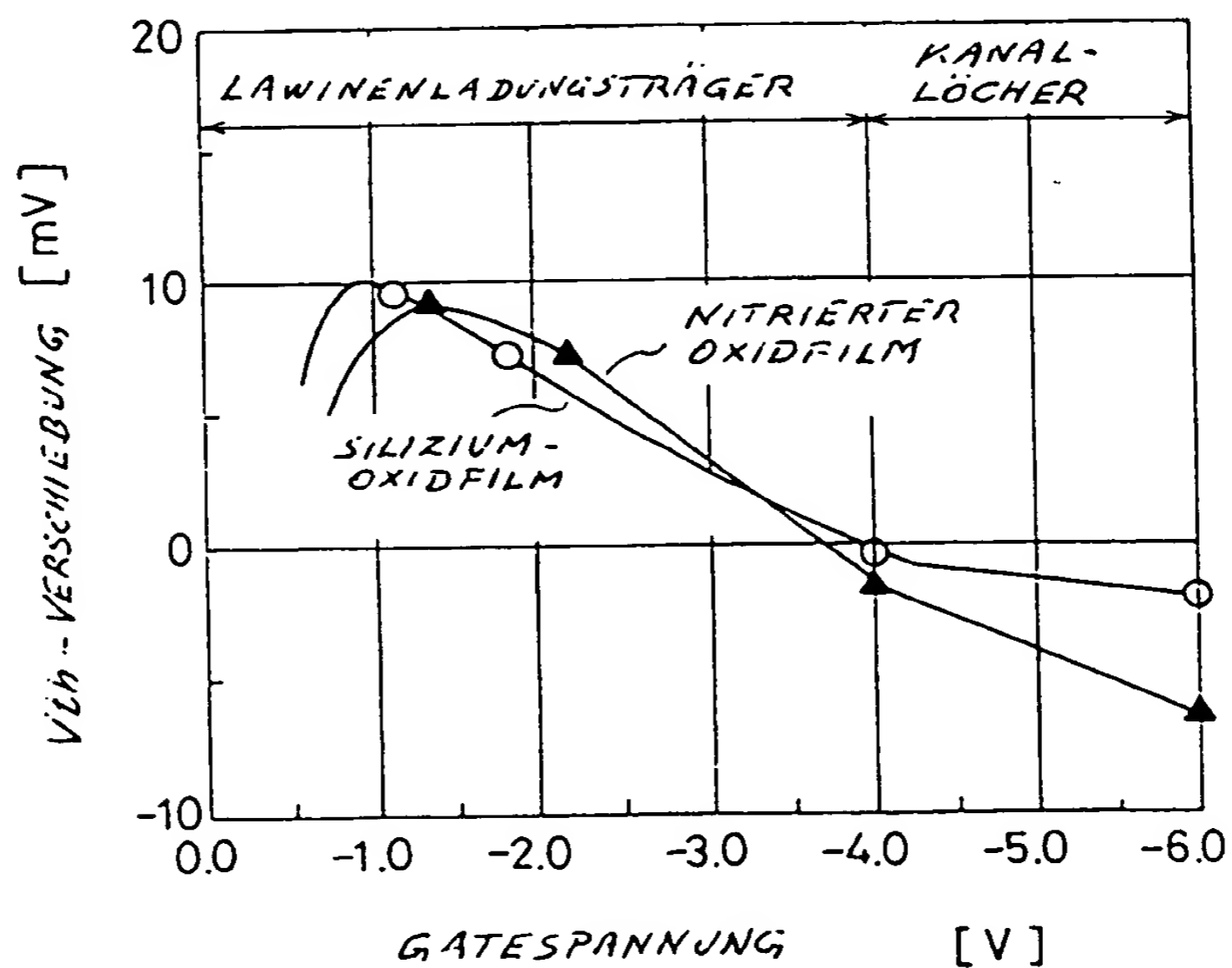


FIG.77 *STAND DER TECHNIK*

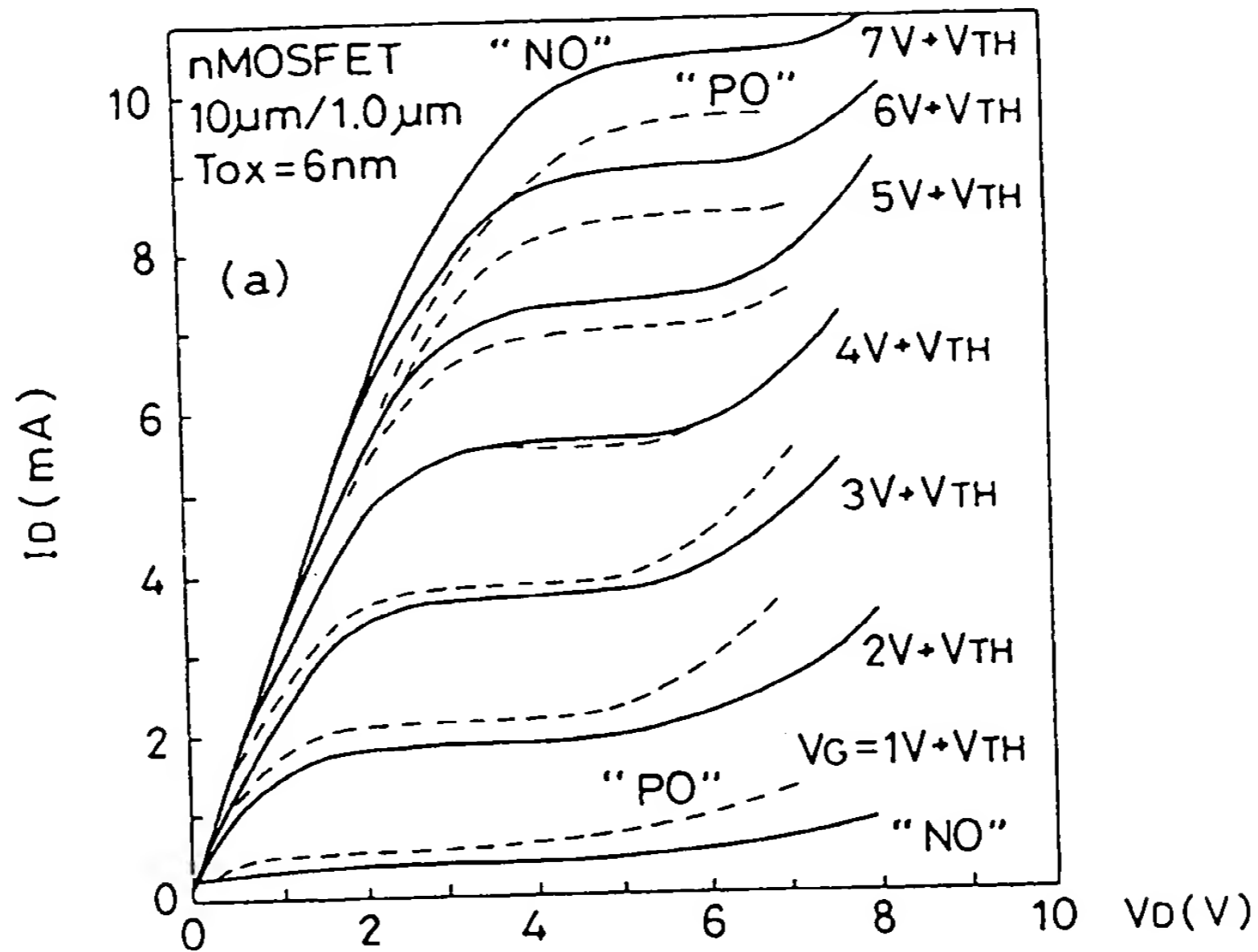


FIG.78 *STAND DER TECHNIK*

